

ALEXANDRE J. MACHADO LEITE

Transformação de um Objecto
da Indústria Extractiva
em Sistema

DEMIN
FEUP
1998



TRANSFORMAÇÃO DE UM OBJECTO DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA EM SISTEMA

Algumas consequências

Alexandre Júlio Machado Leir



Departamento de Minas
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

1998

TRANSFORMAÇÃO DE UM OBJECTO DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA EM SISTEMA: ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS

Alexandre Júlio Machado Leite



DEMIN

043D
LETA TRA

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA M
N.º 309210
CDU 622(043)
Data 16/11/1998



Departamento de Minas
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

1998

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
para prestação de provas de doutoramento

Tese realizada sob a orientação do
Doutor Carlos Manuel Novais Madureira
e coorientada pelo
Doutor Henrique Sérgio Botelho de Miranda

à Isabel

ao Francisco e à Clara

...

e também à minha Mãe



Porque estou aqui?

- Para se sentir mais alto.

Não. Obrigado por participar.

Estou em cima da secretária para me lembrar que devemos olhar constantemente as coisas de maneira diferente.

O mundo parece muito diferente visto daqui.

Não me acreditam?

Venham ver.

Quando pensam que sabem uma coisa, olhem-na de maneira diferente.

Mesmo que pareça tolo ou errado, devem tentar.

Não tenham só em mente o que o autor pensa.

Pensem no que vocês pensam.

Esforcem-se por achar a vossa própria voz.

Quanto mais esperarem para começar, menos possibilidades têm de a encontrar...

...Olhem em redor.

Isso mesmo, Mr. Priske.

Ousem avançar e encontrar novos pontos de vista.

(Do filme *Clube dos Poetas Mortos*

Peter Weir – 1989)

TRANSFORMAÇÃO DE UM OBJECTO DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA EM SISTEMA ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS

RESUMO

Na sequência de trabalhos anteriores, onde se mostrou a possibilidade de uma abordagem científica, quantificada, do tema do dimensionamento de frotas de carga e transporte em conjugação com volantes intermédios de armazenagem/regularização em explorações mineiras a céu aberto, continuámos a busca de conceitos capazes de facultarem uma aproximação cada vez mais fundamentada àquele tema.

Para tal, adoptámos a Metodologia Sistémica tendo, para o efeito, implementado e validado internamente um pacote informático de simulação de um Sistema de carga, transporte e armazenamento considerando o carácter probabilístico dos tempos de actividade das entidades móveis ou não (tolvas) das componentes que o integram.

Com o objectivo de garantir em todo o processo de investigação a desejável sobreposição à realidade simulada, foi frequentemente visitada e atentamente observada uma unidade industrial em laboração onde se colheram dados e detectaram fenómenos intrínsecos ao Sistema.

Explorado o modelo criado e, por aquela via, completada a validação externa e a recolha de resultados relevantes, procedemos à análise destes e a sucessivas refinações do algoritmo tendo-se, no final, obtido pistas significativas e prometedoras para uma heurística do projecto em termos do dimensionamento optimizado de frotas / tolvas.

Em paralelo, e com a colaboração do co-orientador, foram construídos modelos determinísticos de um Sistema com configurações físicas semelhantes, visando metas idênticas e tendo como objectivo uma validação/refutação mútuas.

A concordância global e sensatez dos resultados-limite deste modo obtidos com os resultados oriundos do enfoque probabilístico por nós adoptado parece confirmar plenamente a proficiência da estratégia e das opções que nortearam a elaboração deste trabalho.

TRANSFORMING AN OBJECT OF THE MINERALS INDUSTRY INTO A SYSTEM: A FEW CONSEQUENCES

ABSTRACT

In earlier work, the possibility was demonstrated of a scientific, quantified approach to the problem of sizing the loading and transport fleets as well as the intermediate stocks in open quarry. Now, we continue seeking concepts and techniques allowing an ever more fundamental approach to the same issue.

For this purpose, we have adopted the systems theoretic point of view and have implemented and internally validated a software package capable of simulating a loading, transport and stocking system. This explicitly contemplates the stochastic character of the activity duration and queue waiting times of the different entities.

In order to guarantee the overall agreement between model and nature, a working site was assiduously visited and scrutinised, data were acquired, results were compared and checked, phenomena and processes were detected and identified. In this way, external validation of the model and its algorithm was achieved.

Further exploring the model, analysis of results and consecutive refinements of the algorithm were performed leading, in the end to several clues were obtained, relevant to design heuristics as regards optimal sizing of fleets and stocks.

Laterally, working with one of the supervisors, deterministic models were built for systems with similar physical configurations with a view to mutual refutation/validation. Global and sensible agreement with the outcome of such limit-situation models further confirmed the proficiency of the adopted strategy and options.

TRANSFORMATION D'UN OBJET DE L'INDUSTRIE MINERALE EN SYSTEME: QUELQUES CONSEQUENCES

RESUME

Dans d'antérieurs travaux nous avons montré la possibilité d'une approche scientifique et quantifiée au problème du dimensionnement des flottes de chargement et transport et des stockages intermédiaires dans les exploitations minières à ciel ouvert. Dans ce travail nous pourrions la quête de concepts et techniques permettant une approche toujours plus serrée à ce problème.

Avec cet objectif en vue, nous avons adopté une approche « systèmes » et avons construit et internement validé un paquet informatique pour la simulation d'un système de chargement, transport et stockage intermédiaire qui prend en charge explicitement le caractère probabilistique des temps d'exécution et les délais des activités des entités.

Pour garantir partout dans la recherche la souhaitable superposition des modèles au réel simulé, des visites et observations assidues aux locaux ont été entreprises, des données ont été acquises, des phénomènes et processus ont été repérés et identifiés. En exploitant le modèle développé et, par cette voie, en complétant la validation externe, nous avons entrepris plusieurs simulations dont nous avons soigneusement analysé les résultats et itérativement raffiné l'algorithme. A la fin du parcours, quelques indications significatives et prometteuses ont été obtenues ayant égard à une heuristique du projet optimisé des convois et des stockages.

En même temps, en collaboration avec un de nos superviseurs, nous avons construit des modèles déterministiques des systèmes aux mêmes configurations physiques, qui permettent un calcul plus aisé et efficace de certaines caractéristiques fonctionnelles des systèmes en étude. L'excellent accord des résultats-limites ainsi obtenus avec ceux des modèles probabilistiques ont davantage confirmé la légitimité et efficacité des stratégies et options prises.

Índice

ÍNDICE

• Índice	Índice - 1 a 5
• <u>Capítulo 0</u>	
Continuando, agora de outra forma	
Ao recommençar	0 - 2 a 0 - 5
Não se trata de agradecer. Trata-se de realçar o valor do trabalho em grupo	0 - 5 a 0 - 10
• <u>Capítulo I</u>	
Problema Primário e o Nosso Problema Primário	
A necessidade de um Problema Primário	I - 2 a I - 4
O nosso Problema Primário	I - 4 a I - 6
• <u>Capítulo II</u>	
A opção por um caminho	
Da inviabilidade dos ensaios "in situ" às particularidades da pedreira	II - 2 a II - 4
Modelo	II - 4 a II - 7
Simulação	II - 7 a II - 9
Na busca de conceitos para um possível <i>núcleo</i> duro	II - 9
• <u>Capítulo III</u>	
Justificação de um título	
<i>objecto</i>	III - 2 a III - 4
Sistema	III - 4 a III - 6
Algumas consequências	III - 6
• <u>Capítulo IV</u>	
Identificação da sede do Problema Primário	
O <i>objecto</i> e os seus limites	IV - 2 a IV - 7

- Capítulo V

Quantificações possíveis por consulta, contagem e medida

Contagens e medidas no *objecto*

V – 2 a V – 10

- Capítulo VI

Componentes do *objecto*. Interacções

Componentes e efeitos das interacções

VI – 2 a VI – 8

- Capítulo VII

O ambiente do “objecto”. A definição possível

O ambiente

VII – 2

Características geológicas do jazigo

VII 2 e VII – 3

Condições meteorológicas

VII – 3 e VII - 4

Estado de conservação do parque de máquinas e capacidade de manutenção

VII – 4

Mercado

VII – 4 e VII - 5

Outros factores como por exemplo o capital / situação financeira da empresa, capacidade técnica e competência organizativa existentes e grau de formação do pessoal operador

VII – 5 e VII – 6

Efeitos negativos com retroacção

VII – 6 e VII – 7

A decisão de incorporar factores no ambiente ou no *objecto*

VII – 7 e VII - 8

- Capítulo VIII

O Modelo

A linguagem suporte da modelagem

VIII – 2 a VIII - 4

Modelagem Estrutural

VIII – 4 a VIII – 12

Disciplina de arranque do relevo

VIII – 13 e VIII – 14

Disciplina de fecho do relevo

VIII – 14 e VIII – 15

Modo de evolução do algoritmo

VIII – 15 a VIII – 18

Modelagem Paramétrica	VIII – 18 a VIII - 23
O ficheiro inicial de dados	VIII – 24 e VIII - 25
Modelagem Estratégica	VIII – 26 e VIII – 27
Estabilidade das médias	VIII 27 a VIII – 29
Fluxograma geral e Programação	VIII – 29 e VIII – 30
Validação do Modelo	VIII – 31 e VIII - 32
• <u>Capítulo IX</u>	
O Modelo de Miranda e alguns resultados	IX – 2 a IX – 12
Ainda antes dos nossos resultados	IX – 12
• <u>Capítulo X</u>	
O nosso Modelo de 1990	X – 2 a X 12
• <u>Capítulo XI</u>	
O que foi possível observar, até ao presente, com o modelo construído	XI – 2 a XI – 4
A hipótese da tolva com frequência de níveis simétrica	XI – 4 a XI – 15
Produção	XI – 15 a XI – 24
Os contornos do “patamar” dos valores máximos da produção	XI – 24 a XI – 32
Aumento da produção por aumento da frota	XI – 33 e XI - 34
Uma pequena confirmação	XI – 35 a XI – 37
Frotas equivalentes	XI – 37 e XI – 38
Sequência de frotas mínimas	XI – 38 a XI - 40
Tempos de inactividade	XI – 40 a XI – 44
Uma produtividade	XI – 44 a XI – 47
Sincronia	XI – 47 a XI – 50
Outra produtividade	XI – 51 e XI - 52

Análise de resultados para diferentes coeficientes de variabilidade	XI – 53 a XI - 56
Gama de Produção de uma frota. Índices de utilização	XI – 56 a XI - 60
• <u>Capítulo XII</u>	
Conclusões e desenvolvimentos para futuro	XII – 2 a XII - 4
• <u>Bibliografia</u>	B – 2 a B - 4
• <u>Posfácio</u>	
Um ponto de vista sobre o “objecto”	Posfácio 2 a 15
• <u>Artigo</u>	
Análise de Sistemas de Carga e Transporte: Uma abordagem determinística	1 a 11
• <u>Anexo</u>	
A listagem do Programa	A – 2 a A – 40

Capítulo 0
Continuando, agora de outra forma

“A dinâmica do conhecimento manifesta-se ao longo de duas directrizes: a da aquisição permanente de novos dados e a do aprofundamento dos resultados anteriormente obtidos fruto de uma ampliação da perspectiva, de um novo enquadramento de velhos conceitos e da clarificação de ligações previamente ignoradas ou apenas pressentidas”
(Ludovic Geymonat, 1985)

Continuando, agora de outra forma

Ao recomeçar

A tese que agora se apresenta pretende resumir o trabalho realizado pelo autor numa área de investigação da Engenharia de Minas, levado a cabo no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (DEP. MINAS - FEUP).

Em 1990, candidatou-se o autor ao lugar de Assistente do DEP. MINAS - FEUP, tendo para o efeito realizado Provas de Capacidade Científica e Aptidão Pedagógica. Estas provas versaram já o tema que nestes últimos anos tem continuado a ocupa-lo em horas de reflexão, manipulação de dados, algoritmos e resultados.

Agora, como Assistente do DEP. MINAS - FEUP e com a presente Tese, pretende candidatar-se ao Grau de Doutor em Engenharia de Minas, manifestando desta forma vontade de prosseguir na carreira docente do Ensino Superior, carreira em que se encontra desde 1986.

Mas façamos um pouco de história.

Quando tudo começou!

Estávamos no 2º Semestre do Ano Lectivo de 1981/82, e o autor iniciava, como aluno, a disciplina de Computadores e Programação do 4º Ano da Licenciatura em Engenharia de Minas da

FEUP. Na altura, os docentes da disciplina, Professores Abílio Cavalheiro e Machado Leite, propuseram como tema de trabalho para prática didáctica, a construção de um algoritmo que minimamente simulasse um esquema de carga e transporte parecido com os que vulgarmente se encontram implementados nas explorações mineiras a céu aberto. O problema central resumia-se a uma tentativa de obter, através do algoritmo, um controlo da produção realizada em função do número e características das máquinas de carga e transporte usadas e de um certo regime de encravamento do britador primário que frequentemente se encontra no fim da cadeia de transporte e à cabeça de uma instalação de transformação da rocha extraída na pedreira.

A forma de envolvimento da turma e a postura dos docentes na condução do trabalho prático da disciplina foram fulcrais na motivação provocada, permitindo deixar o “*bichinho*” para o quisermos continuar, mais tarde, na tentativa de olhar para esta parcela da actividade industrial mineira como encerrando fenómenos de organização de elevada complexidade. O “segredo” da condução da disciplina, sob o nosso ponto de vista, centrou-se no provocar a procura e descoberta de uma estratégia de solução de um problema sem nunca fornecer as pistas centrais das possíveis estratégias. À distância, podemos concluir que o nosso grupo de alunos sentiu-se a descobrir por si uma solução, possuindo os docentes várias delas sem jamais as divulgarem.

Essa forma especial de prática lectiva, para além de criar sensibilidade para este tipo de problemas, permitiu ainda que aprendêssemos uma lição: o tempo despendido na análise exaustiva, “microscópica”, do problema, na reflexão cuidada sobre as relações e interacções que se estabelecem entre todos os intervenientes (pessoas, máquinas, geometria das explorações, esquemas organizativos, etc) reveste-se de grande importância, pois terá sempre alguma proporcionalidade com o tempo poupado posteriormente na criação e exploração de modelos.

Nessa altura, em que como alunos estávamos a aprender fazendo, já o Professor Botelho de Miranda, também docente do DEP. MINAS - FEUP, trabalhava neste mesmo tema, preparando a sua Tese de Doutoramento com o título “**Transportes Mineiros: Efeitos Peculiares da Disciplina do Fecho do Relevo**” (Miranda, 1986). Trata-se de um longo e aprofundado trabalho de investigação nesta temática. Com o modelo que serviu de base à sua Tese provou que estes esquemas organizativos possuem características de desempenho insuspeitadas e que só aparentemente os respectivos comportamentos são simples e previsíveis.

Já como Assistente Estagiário do DEP. MINAS - FEUP, com o objectivo de se candidatar ao lugar de Assistente, o autor iniciou novo envolvimento nesta temática. Não nos é possível ter, neste momento, a percepção exacta da data em que, por proposta bilateralmente reflectida do nosso orientador, Professor Carlos Madureira, iniciamos um período de investigação que nos conduziu a Provas de Capacidade Científica. O título da tese apresentada é **“Simulação de transporte e armazenamento em lavra a céu aberto: novos critérios para dimensionamento”** (Leite, A., 1990)

Pretendíamos, como objectivo *“...a criação de um algoritmo de simulação de um “esquema” de carga, transporte e armazenamento de materiais em tolva associado a um dado regime de descarga dessa mesma tolva, aplicável a pedreiras a céu aberto, com vista à sua exploração na tentativa de obtenção de parâmetros de optimização, analisando a dependência destes da capacidade...”* (Leite, A., 1990) dessa tolva.

Este simples problema, o do dimensionamento da tolva de alimentação do britador primário das instalações industriais de fragmentação e classificação de rocha, tinha já sido realçado por Miranda como importante na tentativa de optimização do modo de organização dos transportes em pedreiras: *“... quer dizer que, se pressupusermos que a instalação de fragmentação está provida de tolvas alimentadoras dotadas de certa dimensão, determinado regime de carga (número e capacidade de estações de recepção de material) e um determinado regime de descarga (regular ou aleatoriamente variável), resulta claro que o desempenho das tolvas pode constituir um factor externo capaz de condicionar fortemente o desempenho e o modo de organização dos transportes ...”* (Miranda, 1986).

Porém, esse objectivo não foi na sua totalidade, satisfatoriamente atingido nem por Miranda nem por nós nos trabalhos referidos. No entanto, ficou claro que estávamos num caminho promissor. A metodologia usada e a coerência de resultados dos diversos modelos criados, quando reflectidos em paralelo com o que se conhece da realidade, permitiram concluir que a continuação da investigação daria alguns frutos.

A prova de Aptidão Pedagógica a que também tivemos de nos submeter, com o título **“Simulação de Sistemas de Transporte e Armazenamento - Aula para uma nova disciplina”** (Leite, A., 1990), uma aula estruturada de acordo com um determinado plano curricular e com o objectivo de se atingirem fins no âmbito desse plano, foi elaborada tendo como recurso central a

utilização e visualização de “outputs” do modelo então construído. As potencialidades de “experimentação” na sala de aula partindo de problemas propostos pelo docente e configurações sugeridas pelos alunos com vista à confirmação ou previsão de resultados, por via da simulação, é um caminho que o autor tem vindo a usar como meio de envolvimento activo das turmas no processo de aprendizagem de inúmeros conceitos associados a estes processos organizativos.

Passados 2 anos em que estivemos envolvido em outras actividades, profissional e docente, que só numa visão simplista nada tinham a ver com a área de investigação desenvolvida, retomamos novamente o problema da dimensão da tolva, agora visando um Doutoramento.

E, passados 4 anos de trabalho, sentimos que está a valer a pena percorrer este caminho.

*“...E todas as estradas vão ter junto dos homens...
...A sua flor tinha-lhe dito que era a única daquela espécie
no universo. E afinal estavam ali cinco mil, todas iguais, no
mesmo jardim...
... Mas, sozinha, ela vale mais do que todas juntas,
porque foi ela que eu reguei.
Porque foi ela que pus numa redoma.
Porque foi ela que abriguei com um biombo.
Porque foi por causa dela que matei as lagartas (excepto
duas ou três para as borboletas)”
(Saint-Exupéry, A., 1940)*

Não se trata de agradecer. Trata-se de realçar o valor do trabalho em grupo.

Os resultados de que agora vamos dar testemunho público são o produto de uma actividade não totalmente individualizada, sendo fundamental referir que muitos dos passos decisivos só foram possíveis por meio de uma estreita e activa interacção com diversas pessoas. Algumas com papel

preponderante uma vez que se encontram envolvidos directamente na área temática investigada e outras que, aparentemente desligados do tema e mesmo de áreas de actividade completamente diferentes, nos ofereceram o seu tempo para reflectir sobre o como fazer investigação e mesmo para “aturar” as diversas crises de carácter pessoal que imaginamos sempre ocorrer a todos nestes processos. Correndo o risco de esquecer alguém (risco que vale a pena assumir) aqui fica um palavra a algumas dessas pessoas.

Aos orientador e coorientador deste trabalho. Professores de sensibilidade científica e humana que nos orgulha ter como Amigos.

“O Captain! My Captain! . . .”

(Clube dos Poetas Mortos
Peter Weir citando Walt Whitman – 1989)

O Professor Carlos Madureira, desde o primeiro momento que nos acompanha na carreira Universitária. Foi ele nos encorajou a dar o passo decisivo para concorrer a esta profissão ao afirmar em 1986 que: *“o que tu não sabes comparado com o que tu sabes é da mesma ordem de grandeza do que eu não sei comparado com o que eu sei”*.

O seu cuidado permanente em provocar tomadas de decisão por parte do candidato, quer primeiramente na escolha do tema, realçando a necessidade fundamental de se optar por assuntos que sejam do interesse deste, quer nos momentos críticos e decisivos de inflexão do rumo dos trabalhos, fruto do caminho percorrido, mostra algo sobre a forma do Professor Madureira tratar os seus orientandos. A liberdade total que nos proporcionou, a permanente disponibilidade para atender e reorientar (mesmo que a horas inadequadas) e as sucessivas exteriorizações de sensações de admiração e alegria, à medida que novas pistas eram encontradas, são algumas das características do nosso orientador que muito nos animaram.

Desde o início deste trabalho, o nosso orientador pressentia que a tentativa de resolução do problema central proposto permitiria revelar a possibilidade de integrar um sistema onde ele se

inserir numa estratégia de optimização gananciosa. E com resultados animadores segundo essa estratégia. Este seu pressentimento foi para nós motivo de grande confiança. Neste momento podemos afirmar que há indícios de sua percepção ser válida. **É bom trabalhar consigo** e como são importantes as meias horas em torno do café da manhã.

O Professor Botelho de Miranda, coorientador desta Tese, envolvido na investigação do presente tema desde há muitos anos, foi pessoa de primordial importância para o candidato. A sua impar maneira de analisar as peculiaridades dos diversos problemas que constantemente surgiram durante o trabalho foi decisiva para a consolidação de conceitos que a exploração dos modelos fez surgir. A clarificação de ideias, muitas vezes difícil de conseguir perante resultados só aparentemente confusos, foi acontecendo ao longo das imensas horas de diálogo com o Professor Miranda. A sua militante persistência na análise do que nos parecia insignificante, mostrou o valor que os pequenos pormenores podem ter para a conceptualização de uma realidade construída com os nossos olhos. O trabalho que, a dado momento resolveu encetar, promovendo a construção de algoritmos de cálculo determinístico sobre modelos semelhantes aos por nós simulados, revestiu-se de grande valor na validação mútua que promoveu, bem como na relevância que deu a certos conceitos até então desvalorizados (ou mesmo ignorados). **Proponho que continuemos juntos neste passeio de exploração.**

Ao Professor Machado Leite, não porque seja responsável intencional pela nossa opção de escolha da área do conhecimento em que nos encontramos, mas porque desde muito cedo disponibilizou o seu tempo, a sua sabedoria e a sua amizade para nos permitir a descoberta das Ciências da Terra como tema primacial para a *"arte de minas"*, queremos também confidenciar que **gostamos muito do que andamos a fazer**. A sua visão integrada dos problemas de todas as fases desta *arte*, aliada à maneira particular de exercer a actividade docente e à invulgar sensibilidade para interagir com as pessoas, são para nós referências que nunca esquecemos.

Aos Professores Abílio Cavalheiro e Soeiro de Carvalho, uma palavra de reforço do que já tinha sido afirmado ao longo das páginas da Tese de Capacidade Científica. Temos plena consciência do importante papel que desempenharam, respectivamente na concretização de rotinas

de geração de aleatórios parametrizados pela lei Gama e na implementação de algoritmos e dispositivos de colheita de dados nas unidades industriais. **Sem eles não teríamos chegado aqui.**

À colega Maria Manuel, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, que embora licenciada em outra área, aceitou entrar na aventura de se debruçar sobre a mesma realidade por nós usada, com vista ao seu Doutoramento em Matemática, afirmamos que a interacção daí resultante contribuiu para uma melhor consciencialização do nosso trabalho. As horas despendidas juntos, cá e para lá do Marão e mesmo um cá e outro lá (via email), com esclarecimentos sobre o modo como se organizam os esquemas industriais em observação, ajudaram o autor a novas reflexões que conduziram a novas ideias. **Que a Investigação Operacional continue a ser motivo para esta interacção.**

Aos técnicos da SEOP.

As muitas visitas à Pedreira da Quinta do Moinho, Madalena, permitiram ao autor posicionar as suas ideias numa estreita relação com a realidade industrial. Não nos sentiríamos bem sem ter a oportunidade de observar aquela, ou outra realidade, verdadeiro cenário para o nosso trabalho. E isso só foi possível por intermédio os colegas Cardoso Guedes e João Fernandes da Empresa SOLUSEL, que se disponibilizaram para nos acompanhar neste processo, fornecendo dados, esclarecendo dúvidas e acompanhando-nos na Pedreira. Uma palavra de apreço pela disponibilidade demonstrada pelos Encarregados da Exploração e da Central de Britagem, respectivamente Sr. Manuel e Sr. Miranda bem como pelo Sr. Ernesto, condutor de viaturas de transporte da Pedreira. Todos eles tiveram a paciência para nos ouvir, responder às nossas interrogações e deixar-nos ser companheiros nas longas horas de trabalho no terreno. **Se calhar vamos continuar a aparecer na Quinta do Moinho.**

Uma referência especial aos Doutores Felix Praia e Luís Marques, respectivamente do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências Universidade do Porto e do Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa da Universidade de Aveiro. Já lá vão alguns anos desde que batemos à porta destes Amigos para lhes solicitar resposta a muitas das questões que constantemente formulamos sobre o nosso modo de ser docente. Uma vez aberta, essa porta jamais

se fechou. Em grupo, temos partilhado ideias, criado metodologias de trabalho, desenvolvido interações com outros grupos enriquecendo, deste modo, o sentido da profissão. Apesar de a base da nossa relação ser o ensino das Ciências da Terra, dela surgiram muitas ideias para dar corpo ao presente trabalho. **Vamos continuar O Grupo.**

Aos restantes colegas do DEP. MINAS - FEUP com quem o candidato partilha os seus dias, discutindo pormenores do seu trabalho, reflectindo sobre o modo como exerce a actividade docente, inventando formas novas de gostar da profissão ou simplesmente tendo-os como companhia para um almoço ou café, a grata certeza de que a Tese que agora se apresenta está também influenciada por eles. **Convosco, sentimo-nos parte de um Corpo Docente.**

Uma palavra merecida à colega Aurora Futuro que, pela presença constante no gabinete de trabalho, foi “vítima”, sem culpa alguma, de muitas crises por que o autor passou. A cumplicidade mútua, quer por um paralelismo de carreiras, quer de interesses comuns na área do ensino das Ciências da Terra, marcam naturalmente a nossa actividade. **Continuemos a experimentar recursos e estratégias para o ensino da Geologia.**

Para os alunos que, em diversas aulas das disciplinas de Sistemas de Carga e Transporte e Optimização de Estratégias de Exploração, foram “cobaias” dos nossos modelos, uma palavra de apreço pelas reacções positivas e empenhadas que demonstraram face às experiências de sala de aula a que os submetemos. Neste momento podemos afirmar que possuímos alguns recursos didácticos minimamente eficazes para o ensino dos inúmeros conceitos associados à dinâmica de carga, transporte e armazenamento em pedreiras. **E os alunos ajudaram-nos.**

Aos Amigos Cristina Madureira, João Paulo e Vitor Cerveira. Foi com eles que, já na ponta final do trabalho, o autor passou horas deliciosas criando a capa para a tese que agora se apresenta. A habilidade do João Paulo e a persistência do Vitor aliadas à sensibilidade da Cristina, fizeram dessas horas um período de agradável interacção que muito gozo nos deu. Apanharam a nossa ideia sobre o que entendemos que a tese representa e, conjugando esforços (alguns deles por nós indevidamente “exigidos”) ajudaram-nos a produzir a capa que dá rosto ao presente trabalho. **Inventemos motivos para interactuar.**

Ao Humberto Pacheco, Amigo de longa data. O que nos une não é o ensino da engenharia nem a tipografia onde se fez a capa e se encadernou a tese, mas através delas temos podido encontrar-nos e realizar leituras sobre o significado das actividades profissionais no contexto de toda a nossa vida. **Os encontros das 12.30 horas, lá para os lados do rio Douro, continuam a ser muito importantes.**

Ao Pessoal Auxiliar do DEP. MINAS – FEUP, a nossa palavra de carinho pelas inúmeras respostas positivas às solicitações frequentemente por nós feitas em última hora. Sem o seu apoio, muitas das coisas que se fizeram não tinham sido concretizáveis.

À Isabel, ao Francisco e à Clara, que suportaram as ausências motivadas pelo recolhimento necessário para o trabalho e meditação e que nem sempre sabemos equilibradamente separar do resto da vida.

Em especial à Isabel que muitas vezes incentivou a realização da tese, a ela sim, devo dizer **obrigado por tudo e desculpa qualquer coisinha.**

Capítulo I
O Problema Primário e
o Nosso Problema Primário

"Penso que só há um caminho para a ciência ou para a filosofia: encontrar um problema, ver a sua beleza e apaixonar-se por ele; casar e viver feliz com ele até que a morte nos separe - a não ser que encontremos um outro problema ainda mais fascinante, ou, evidentemente, a não ser que obtenhamos uma solução, poderemos descobrir para nosso deleite, a existência de toda uma família de problemas-filhos, encantadores ainda que talvez difíceis, para cujo bem-estar poderemos trabalhar, com um sentido, até ao fim dos nossos dias"
(Karl Popper , 1992)

A necessidade de um Problema Primário

Um Projecto de Investigação, à luz da Metodologia do Projecto Sistémico (Madureira, 1993), começa com a identificação de um Problema Primário, que não é mais do que uma necessidade detectada num dado espaço de uma realidade em que o homem se encontra inserido e que de cuja resolução resultaria alguma melhoria para o próprio homem. Trata-se da constatação de uma discrepância entre um estado de coisas tal como existe e um estado que pensamos que deveria existir (Madureira et al., 1992).

A investigação, entendida neste quadro, é uma actividade nobre, permanentemente voltada para a melhoria das condições de vida da humanidade e não uma constante e rápida disputa de descobertas, fortemente norteadas pela vontade de ultrapassar e não ser ultrapassado.

Um Problema Primário não é necessariamente um problema geral com uma consequente solução complexa. Em muitos casos trata-se mesmo de um problema simples; embora com uma solução que pode levar algum tempo a encontrar.

Descoberta uma solução, é frequente considerá-la, nesse momento, como banal o que causa um certo mal estar no investigador. É costume perguntar a si mesmo: o que é que eu fiz de importante?

A tomada de consciência de Problemas Primários, que muitas vezes não é clara, fruto de um deficiente quadro conceptual de enquadramento da observação da realidade e consequente dificuldade em aceder a novos níveis de conceptualização dessa mesma realidade, obriga a algum esforço de análise para a sua caracterização. O estado de carência detectado, o problema, será então produto de uma leitura da realidade no seio de um contexto técnico-cultural e à luz da experiência do observador. O grau de relevância do problema mostra, para quem o detecta ou se envolve nele, o significado da importância desse problema, o seu valor social. Sem possuir significado relevante, o problema não é entendido como um estado de carência, não permite imaginar alternativas, no fundo não é problema.

Ao mesmo tempo, a sua análise com vista à sua clarificação produz-se no interior da construção de uma oportunidade para a sua resolução. Com isto se pretende afirmar que uma consciente identificação do Problema Primário constitui, desde logo, um sério contributo para a sua resolução no seio do quadro técnico-cultural do investigador. Para que este acontecimento seja real, é necessário sentido de oportunidade, nem sempre claro, que envolva a percepção do problema e o sentido do caminho para a solução. *"... os processos mentais subjacentes à invenção de um novo problema tecnológico são os do domínio da capacidade de olhar sob uma perspectiva nova, ou à luz de dados novos, um modelo já velho"* (Madureira, 1993).

Seguindo esta linha de ideias, a investigação não se baseia num tema, mas sim na resolução de problemas (eventualmente inseridos numa classificação temática) e ela será tanto mais investigação quanto mais impulsos conseguir dar para os resolver. *"...Acho que só há um caminho para a ciência: encontrar um problema, ver a sua beleza e apaixonarmo-nos por ele"* (Karl Popper -

Com o objectivo de não nos alhearmos de um possível contexto real (a que temos de nos sentir, por necessidade, sempre ligados), em Posfácio apresentamos um pequeno texto com o título Um ponto de vista sobre o objecto. Nele se tenta descrever a actividade e ambiente de uma pedreira através de um ponto de vista eventualmente pouco vulgar. Na fase crucial de definição de um Problema Primário, é para nós claro e indispensável implementar múltiplas observações sobre um contexto onde esse Problema se insira. Dos possíveis de pontos de vista, estabelecidos em diferentes momentos e condições físicas diversas, resultarão experiências pessoais que conduzirão a uma mais eficaz definição e resolução de um sempre necessário Problema Primário.

Ao leitor, gostaríamos de salvaguardar que, mais do que a ele, é ao autor que se destina o dito Posfácio como exercício de auxílio na obtenção de confiança quer na construção de um modelo quer no controlo de resultados.

Ao longo do texto faremos inúmeras remissões a esse Posfácio com a intenção de "sentirmos" que estamos a trabalhar numa possível realidade.

As referências serão estabelecidas através de um número correspondente ao parágrafo respectivo desse Posfácio

Ex.
A chegada à pedreira

Posfácio - 1 a 7

1992), e trabalhar até que nos sintamos satisfeitos com a solução encontrada, não ignorando que se estará numa plataforma de satisfação relativa. É que, chegados a esse conforto de uma solução, de uma alternativa, o problema passará a ser lido sob outra forma, muitas vezes resultado do caminho percorrido na busca da solução, o que o tornará ainda mais fascinante. A própria definição do Problema Primário como estado de carência mais ou menos bem definido acarreta um certo grau de indefinição, o que prevê a existência de eventuais múltiplas soluções para esse Problema Primário nos seus diferentes graus de clarificação.

E, como veremos mais adiante, o envolvimento na tentativa de resolução de um Problema Primário, mesmo que, para ele não seja descoberta uma solução, por necessitar de ser contextualizado, “obrigatoriamente” mostrará fenómenos novos desse contexto, correspondentes a um novo conhecimento da realidade: *“Com cada passo em frente que damos, com cada problema que resolvemos, descobrimos não só novos problemas não resolvidos, como constatamos também que quando julgávamos pisar terreno firme e seguro, tudo é de facto incerto e vacilante.”* (Karl Popper, 1992).

E foi ao constatar esta novidade - a da existência de fenómenos eventualmente desconhecidos que ocorrem em artefactos supostamente bem conhecidos porque por nós construídos - que começou a dissipar-se a fronteira entre o natural e o criado pelo homem. Como pretendemos mostrar, a complexidade organizativa do meio onde se insere o problema, a pedreira, apesar de ser uma entidade criada pelo homem, está longe de ser um esquema simples e é para nós um complexo de elos conectados onde ocorrem acontecimentos que estão muito para além do Problema Primário detectado. Pode ser por isso que lhe chamaram Problema Primário. Foi a partir dele que tudo começou.

O nosso Problema Primário

Já em anos antecedentes a 1986, o Professor Carlos Madureira levantou a orientandos seus o problema do **dimensionamento de tolvas ou armazéns de material fragmentado** em explorações de rocha, como stock de regularização da alimentação de instalações de britagem e classificação. Não é clara, para além do empirismo ou tradição, qual a regra (se é que existe) que

preside ou deve presidir ao dimensionamento deste tipo de instalação, permitindo a minimização das despesas na sua construção e ao mesmo tempo uma eficácia integrada do seu funcionamento.

Em trabalhos anteriores (Miranda, 1986) e (Leite, A., 1990), tentaram obter-se respostas a esta questão. Porém, com aqueles trabalhos, não foi possível chegar a soluções satisfatórias, não tanto por ruírem à tentativa de refutação mas porque no seu encaço se levantaram outros problemas a necessitarem de resposta prévia.

Naquelas buscas de respostas para o problema, o contexto em que este se insere foi de alguma forma violentado. Empregamos a palavra violentado para exprimir a nossa surpresa perante alguns acontecimentos novos detectados, carregados de lógica e que virtualmente nunca imaginámos nem vimos nas pedreiras. A inércia de inovação industrial que caracteriza muitas das pedreiras do País e a necessidade de resposta às solicitações prementes de mercado não facultam aos empresários e técnicos a disponibilidade necessária para se permitirem testar novas formas organizacionais nas suas unidade de exploração que lhes dêem oportunidade de tentar a optimização. Neste facto residem muitas das razões para a falta de colaboração entre a Universidade - como escola de investigação (que também o é) - e este sector da indústria.

Ao mesmo tempo, os trabalhos anteriores evidenciaram a possibilidade de uma abordagem científica, analítica e quantificada, do tema do dimensionamento de frotas de carga e transporte conjuntamente com esses parques ou "stocks" de tamponamento intermédio.

Naturalmente que, perante este passado, não íamos abandonar o caminho, aceitando claramente continuar o trabalho de obter alguma regra para o referido dimensionamento.

Portanto, ao partirmos para Doutoramento, tivemos a facilidade de já nos termos envolvido na área do conhecimento em causa, podendo mesmo dizer que os trabalhos anteriores foram os preliminares sem os quais não teríamos chegado aqui: *"Para se tocar piano, de início é extremamente difícil coordenar os dedos com as notas já que se está a aprender algo de novo. Mas depois, quando já se tiver aprendido o que era novo, procuramos dedicar-nos apenas ao essencial: à ideia do compositor."* (Karl Popper et. al., 1990). Obviamente, não nos consideramos com pretensões a pianista, mas temos a consciência de que é necessário um estado crítico de envolvimento com os problemas para se obterem resultados relevantes na investigação. Estamos claramente conscientes de que, apoiados no o passado, ultrapassámos já o *senso comum* " ... que fica restrito à descrição da aparência dos fenómenos, não problematizando as suas causas e os seus efeitos. É um

conhecimento que releva as aparências, em vez de procurar explicações fundamentadas ...” (Praia, 1994), mas que nos encontramos num rumo que permite conceptualizar a realidade em ordem ao seu entendimento.

Portanto, mantemos a motivação para o Problema Primário: **será que existe uma dimensão óptima para uma tolva armazenadora situada entre um certo domínio organizado de carga e transporte e uma instalação de britagem e classificação?** Por outras palavras: numa pedreira a laborar, poderemos avaliar a influência da tolva no processo de produção; ou, num projecto em execução, será possível propor uma dimensão fundamentada para a tolva?

“ In the winter time our people place a box on a sledge and draw it down the low mountains with a horse; and in this season they also fill sacks made of hide and load them on dogs, or place two or three of them on a small sledge which is higher in the fore part and lower at the back. Sitting on these sacks, not without risk of his life, the bold driver guides the sledge as it rushes down the mountain into the valleys with a stick, which he carries in his hand; when it is rushing down too quickly he arrests it with the stick, or with the same stick brings it back to the track when it is turning aside from its proper course. Some of the Noricians collect ore during the winter into sacks made of bristly pigskins, and drag them down from the highest mountains, which neither horses, mules nor asses can climb. Strong dogs, that are trained to bear pack saddles, carry these sacks when empty into mountains. When they are filled with ore, bound with thongs, and fastened to a rope, a man, winding the rope round his arm or breast, drags them down through the snow to a place where horses, mules, or asses bearing pack-saddles can climb. There the ore is removed from the pigskin sacks and put it into other sacks made of double or triple twilled linen thread, and these placed on the pack-saddles of the beasts are borne down to the works where the ores are washed or smelted.”

Georgius Agricola in “DE RE METALLICA” – 1556
Tradução de Herbert Hoover e Lou Hoover



Capítulo II

A opção por um caminho

“A tarefa da ciência, começada há milénios, é de prosseguir uma adaptação cada vez mais precisa do nosso espírito à realidade, de construir uma representação cada vez mais adequada do mundo que nos rodeia e ao qual pertencemos, primeiro para o compreender, depois para passar da compreensão à previsão e em seguida à acção”
(Paul Langevin em Jean Rosmorduc, 1983)

Da inviabilidade dos ensaios “in situ” às particularidades da pedreira

Identificado o cenário onde habita o Problema Primário escolhido, foi necessário definir uma estratégia de abordagem desse problema com vista à procura de uma solução.

Na actualidade da indústria extractiva Portuguesa, parece clara a inviabilidade da implementação de um programa de pesquisa exaustiva nas próprias pedreiras, para tentar estabelecer um critério de dimensionamento dos dispositivos de armazenagem ou simplesmente para a escolha de uma frota otimizada de pás e camiões. Mesmo que este fosse caminho com alguma viabilidade, as implicações de tal prática na actividade da empresa “cobaia” seriam demasiado pesadas para que nos atrevêssemos sequer a propô-lo.

Só em casos pontuais, onde se perspectivem poucas alterações para a obtenção de melhorias no desempenho dos esquemas organizativos de carga, transporte e armazenagem, é que se poderá “usar” a unidade industrial directamente: *“Os ensaios directos revelam-se profícuos apenas quando se buscam aperfeiçoamentos pontuais ou quando o objectivo perseguido consiste na afinação de um modo de organização de um sistema de transportes com virtualidade globais já demonstradas; mas não se adequam à implementação de variantes que acarretem mudanças radicais, porque estas em geral não dispensam a mobilização de mais (ou de novos) equipamentos e/ou alterações substanciais das características das infraestruturas”* (Miranda, 1986). Mesmo no caso de se perspectivar uma actuação directa, outros meios (eventualmente os que nós propomos de seguida) serão necessários para caracterizar correctamente todas as vertentes da situação real. Sem

esta, será difícil prever outra melhor, tanto mais que devemos manter algum respeito pelo “saber de experiências feito” acumulado pelo técnico experimentado ou pelo papel fundamental da analogia com outros casos conhecidos; *“a experimentação in vivo somente se justifica tendo em vista a implementação ou confirmação de um dado modelo; assenta à partida em hipóteses sobre o comportamento do sistema em estudo, isto é, baseia-se num pré-modelo”* (Mélèse, 1970).

Sendo a pedra, com todas as suas componentes e interações internas, um artefacto criado pelo homem para suprir necessidades objectivas, obedece a uma intencionalidade e é construída e modificada de acordo com metas definidas. Porém, este artefacto artificial está dependente da permanente interferência humana, clara no funcionamento das unidades móveis (interferência interna), e da constante necessidade de interacção externa (por exemplo, adicionar mais um camião) para que um objectivo, mesmo que momentâneo, seja por ele cumprido. Como veremos, estamos perante um artefacto com alguma forma de comportamentalismo (tecnológico), que pode, em alguns aspectos, parecer comportamentalismo psicológico.

Posfácio – 17 a 24

Por outro lado, as dimensões espaciais do cenário (em constante embora lenta mutação) onde se desenrolam as interações de todas as unidades intervenientes e o tempo necessário para garantir uma estabilização após uma modificação num esquema organizativo, bem como a mistura entre acontecimentos dependentes de interacção de componentes discretas e contínuas que nele existem, tornam esse cenário num artefacto com características particulares na indústria extractiva, fazendo distinguir este sector da indústria mineira do processo ou preparação de minérios.

Posfácio – 36 e 37

Essas particularidades, e outras não tão claras, vão condicionar o modo de se abordar qualquer problema detectado no seu interior.

Como já foi por nós aflorado, a novidade da existência de comportamentos desconhecidos no ambiente em estudo, detectados por recurso a técnicas de exploração de *modelos*, e que só com muita sorte seriam identificados na realidade, mostra que, apesar de estarmos perante um artefacto, este deve ser tratado como contendo enigmas a desvendar, possuindo peculiaridades resultantes da interferência dos diversos elementos que o constituem, nomeadamente a forte componente humana nele existente.

“No quadro da nossa civilização tecnológica, a função das disciplinas científicas do curriculum escolar tem sido, tradicionalmente, a de ensinar como são e como se comportam os objectos naturais.

Por contraposição, as disciplinas técnicas ou tecnológicas têm tradicionalmente ensinado como são e como se constróem os objectos artificiais; só muito recentemente começaram a ensinar a análise, isto é, o modo como funcionam efectivamente os artefactos, e começaram a fazê-lo principalmente por via da simulação; em um futuro não muito longínquo deverão ensinar o projecto, isto é, o modo como devem ser concebidos e implementados os artefactos para que funcionem de certo modo pré-especificado” (Madureira et al., 1992).

A dificuldade em obter resposta para o Problema Primário em causa, por parte de Miranda e por nós próprios, a par da identificação de fenómenos novos e coerentes por via da simulação, mostra claramente que nos encontramos ainda na fase de adquirir o conhecimento sobre o artefacto. Ele ainda não foi conceptualizado na sua totalidade (se é que algum dia vai ser) para que passe a ser objecto de projectação. Temos de nos empenhar na tentativa de procurar saber como as coisas são, para depois podermos dizer como as coisas podem e devem ser. Daí, neste caso, não ser para nós clara a distinção entre o natural e o artificial.

Neste sentido, a resolução de problemas pontuais afirma-se como um caminho de definição de regras com vista a uma projectação efectiva. É preciso identificar relações interferentes, conceitos e fenómenos, para se obter um ou vários paradigmas genericamente aceitáveis que sirvam de base a uma formulação teórica potente em que se baseie o projecto.

Estamos pois no caminho da aprendizagem por descoberta, como fruto da análise dos resultados da simulações e da sua confrontação com o que é conhecido.

Modelo

A possibilidade de criar um artefacto que modele facilmente um outro artefacto mais complexo, dificilmente manipulável e consequentemente menos previsível, é pois o caminho que temos seguido e que esta Tese usou como metodologia de trabalho. Os resultados são, pois,

produzidos a partir de um segundo artefacto ou sobre-artefacto pensado sobre um artefacto existente, que lhe é anterior e que é apercebido. Elaborámos um modelo que se comporta como hipótese da estrutura do real.

Como exemplo de modelo, podemos referir um dos primeiros a ser criado com o objectivo de quantificação de fenómenos, o modelo de um gás construído por Newton. Composto por partículas ligadas por molas, era usado para calcular a velocidade de propagação do som. Quando em criança se brinca ao *"faz de conta"*, se joga à batalha naval, ou quando se afirma que o tempo vai mudar pois se sente uma alteração dolorosa numa articulação, estamos, com base em modelos representativos da realidade, a simular essa realidade e, em muitos casos a fazer previsões. Um modelo é uma simplificação do real, constituído por um domínio delimitado dessa realidade, uma representação onde não é dito tudo, mas dotada de uma coerência interna construída pelo observador. Mas nunca é a realidade (embora, em certos momentos, estejamos sugestionados pela impressão de possuímos, no modelo, o real).

Um modelo deve permitir, por simulação, uma visualização ou outra representação mental do modo como uma realidade é afectada nos seus aspectos particulares ou no seu todo, quando se realizam alterações em determinadas das suas características. Terá que possibilitar a realização de prognósticos e de controlo.

Para se concretizar e ser útil, o modelo deve possuir dois atributos antagónicos - ser simples e ser realista. Deve constituir uma aproximação razoavelmente precisa ao real e conter a maior parte dos aspectos importantes do mesmo; por outro lado, não pode ser complicado, ao ponto de não ser manipulável, porque isto é nunca chegar a ser modelo. Os modelos sucessivamente mais realistas, na maioria dos casos, são conseguidos apenas quando se parte de situações simples, e por vezes até caricaturas da realidade. É sobre os insucessos que se reúnem novos dados qualitativos importantes, permitindo que as análises seguintes sejam mais bem conduzidas.

Um bom modelo surge como constituído por ligações sólidas entre conceitos já elaborados e adquiridos, o que realça a via da complexificação à medida que a conceptualização avança. Neste sentido, o modelo em uso representa um passo no processo de conhecimento do real (artificial ou natural). Ele, qualquer que seja, possui um valor heurístico. O princípio da valoração dos erros detectados em modelos, como trampolins para modelos mais complexos, numa dialéctica de refutação/validação, parece-nos fecundo e profícuo como modo de progredir na investigação; tem

sido tradicionalmente seguido pela “nossa escola” e não foi derogado nesta instância, facto que tentaremos deixar claro com a esta Tese.

Dado existir uma racionalidade e mesmo simplicidade externas no artefacto que temos que modelar, este presta-se à modelagem conceptual e lógico-matemática, a qual, por sua vez, se presta de igual modo à implementação em computador.

“ Temos assim o artefacto moderno por excelência, o computador digital, a servir de suporte ao artefacto conceptual por excelência, o modelo, cuja exploração, que chamamos simulação, ajuda a compreender e, portanto, a projectar e a utilizar melhor o artefacto...” (Madureira et al., 1992).

Formalmente, distinguimos três estágios na fase de modelagem: um primeiro estágio, a modelagem estrutural, em que se organiza o modelo de acordo com determinado esquema conceptual coerente e onde se seleccionam as entidades intervenientes, bem como as relações de interacção entre essas entidades. Ao mesmo tempo, definem-se as disciplinas limite (de arranque e terminus do modelo), de actividade e interacção entre elementos de todo o processo a modelar, investindo-se particulares cuidados na análise da influência (ou não) dessas disciplinas sobre o Problema Primário escolhido.

Neste estágio, deve ainda escolher-se um modo de implementar a evolução temporal do modelo mediante a definição de uma dinâmica ou de uma mera cinética.

Depois de recolhidos dados relativos às actividades dos elementos intervenientes no processo, para com eles tentar obter representações matemáticas que modelem essas actividades, criadas e testadas rotinas de obtenção de valores aleatórios segundo adequadas leis de probabilidade, entramos num segundo estágio, comumente designado por modelagem paramétrica, já em estreita ligação com a simulação. Neste tenta-se parametrizar o modelo de acordo com critérios de ajustamento desse modelo ao real que se pretende modelar. Trata-se de escolher modos e parâmetros de reproduzir as actividades das entidades.

Ainda na fase de modelagem, porque muito enraizada na descrição, mas ao mesmo tempo na transição para a simulação, definimos mais um estágio, por nós referenciados por estágio estratégico, onde se preconiza uma estratégia para um encadear de sucessivas experiências (réplicas) com o modelo com vista a obter resultados estabilizados que possibilitem (ou não) resolver

o Problema Primário. Esta estratégia, muitas vezes de difícil caracterização, também será objecto de refutação/validação, em função das experiências que se vão realizando e da adequação/inadequação das respostas obtidas para os fins em vista. Com a concretização desta fase, cria-se a expectativa de uma solução antes de ela existir.

*“O melhor do melhor saber é a descoberta de novas
e fascinantes parcelas da ignorância”
“... a dúvida é um estado incómodo, mas a certeza
é um estado ridículo ...”
(Fernando Savater, 1994)*

A construção de um modelo é então uma actividade humana, uma condição prévia para permitir a formulação da possibilidade de uma expectativa ser válida ou inválida. Neste sentido, fazer ciência segue os passos de qualquer uma actividade humana de todos os dias.

Simulação

Na posse de um modelo, a simulação consiste no seu uso ou exploração. De facto, o modelo só por si, pouco significa. O seu uso, o tirar partido de um artefacto transformável em diversas vertentes, é que se tornará numa tarefa passível de produzir resultados e novidades.

Naturalmente que também na simulação se podem definir vários estágios de desenvolvimento. Um primeiro corresponde à detecção de discrepâncias entre o comportamento do modelo e o que se conhece do real. Inicia-se o processo de refutação do modelo com vista a eventuais alterações e refinamentos iniciais. Com efeito, é pouco provável que o modelo funcione a contento imediatamente aquando do primeiro ensaio de simulação.

Esta situação de tentativa de refutação (a validação só ocorre, e sempre provisoriamente, por falência da refutação) do modelo, depois de ser o primeiro passo na simulação, passa a ser uma atitude permanente em todo o desenvolvimento da actividade científica em torno do modelo com vista

à resolução do Problema Primário. E não deve ser abandonada, caso contrário correr-se-ia o risco de inibir a descoberta do erro, impossibilitando o progresso, o sucessivo aperfeiçoamento dos modelos e a consequente mudança conceptual que se procura. Esta é uma atitude de difícil implementação: pois, *“... o cientista paga um certo preço pelo seu comprometimento ... Uma simples observação que seja incompatível com a sua teoria pode demonstrar que ele tem estado a usar uma teoria errada durante o tempo todo. O seu esquema conceptual tem então de ser abandonado e substituído”* (Kuhn em Karl Popper, 1992).

Testado o modelo por simulação e satisfeitos, mesmo que apenas por momentos, com o seu desempenho, podemos abstrair-nos dos pormenores estruturais deste, para nos centrarmos numa nova fase - a exploração (uso verdadeiro) do modelo.

É da exploração exaustiva que emergirão orientações capazes de inspirar e fundamentar alterações ao modelo e ao modo como se encadeiam as simulações

Se o modelo descreve a realidade num quadro técnico/cultural e conceptual que é o do seu criador, o que lhe trará de novo a sua exploração? Precisamente a possível alteração desse quadro à custa da exploração realizada e consequente nova forma de descrever a mesma realidade.

Uma realidade como a que nos prende, a chamada “pedreira” (descrita por palavras inspiradas na interacção entre a nossa maneira de ver a pedreira e os conceitos que possuímos sobre essa mesma pedreira) possui elementos de comportamento individual simples que facilitaram a construção do modelo. Essa simplicidade deixa de existir à medida que introduzimos maior número de elementos, multiplicando violentamente o tipo de interacções, transformando a previsão comportamental global e mesmo particular em tarefa não trivial. Daí se afirmar, por impossibilidade mental de acompanhamento das implicações das interacções, que *“o todo não corresponde à soma das partes”*.

Como já afloramos, toda a simulação tem por base a geração de números aleatórios segundo leis de distribuição conhecidas e isomorfas das representações permitidas pela colheita de dados no espaço real. Esta técnica é genericamente designada por Técnica de Monte Carlo. Usámos esta técnica, em virtude de ela ser consagrada, entre outros, ao domínio de certas classes de problemas de funcionamento de organizações sociais, em que indivíduos capazes de uma certa independência e liberdade de funcionamento (de onde uma certa margem de incerteza no seu comportamento) mas de capacidades limitadas, interactuam por cooperação/competição dando

origem a fenómenos como por exemplo, filas de espera. As leis de distribuição usadas, também elas modelos (matemáticos) de descrição de actividades observáveis na organização que modelamos, são passíveis de serem reproduzidas por geradores mais ou menos consagrados.

Na busca de conceitos para um possível *núcleo duro*

Esta forma de encaminhar a investigação, no nosso entender, é uma entre outras formas que podem permitir a conceptualização de fenómenos das parcelas industriais mineiras. Pela nossa experiência sentimos que os frutos continuam a ocorrer. A necessidade de descobrir conceitos, uns construídos a partir de uma análise sobre as estratégias mais ou menos empíricas consagradas outros mais ou menos teorizados, quer através da observação directa nas unidades produtivas quer em modelos como os que nos ocupam, reveste-se de grande importância para que se possa vir a encontrar um possível conjunto deles que constituam um núcleo duro que permita uma abordagem mais “científica” destes problemas. Continuamos na busca de conceitos que se constituam em rede, ligados entre si por relações lógicas e que possam, depois de “dominados”, vir a permitir a implementação de modos de actuação técnica evidentes e eficazes de optimização.

Temos uma arraigada convicção de que nesta busca estaremos a dar um contributo para a construção de um conhecimento que permita num futuro encontrar *“um certo número de conceitos que se destacam dos restantes por um conjunto particular de características, constituindo o que se chama núcleo duro da teoria científica ... os restantes conceitos formarão o que chamaremos o cinturão protector desse núcleo duro”* (Lakatos, citado por Madureira, 1995).

Capítulo III
Justificação de um título

*“Com o Simbolismo
procura-se, através do símbolo ou da ideia, exprimir a realidade.
O ponto de partida é a convicção de que o mundo que nos rodeia
e os nossos sentidos captam não é a realidade última mas
apenas o reflexo de revelações absolutas que permanecem
ocultas”*
(http://www.citi.pt/cultura/literatura/poesia/e_andrade/simbol.html)

objecto

Embora um título só possa ficar verdadeiramente entendido no final da leitura do trabalho que ele encima, desde já entendemos fundamental apresentar uma primeira justificação para a escolha do mesmo.

Naturalmente que a escola em que nos inserimos exerce influência no modo como conduzimos a nossa actividade, quer de docência quer de investigação. Também o nosso tipo de actuação adiciona, de alguma forma, características a essa escola, construindo-se por interacção um estilo particular. Neste momento sentimos necessidade de clarificar formalmente (até onde for possível) esse estilo, pelo qual nos sentimos co-responsáveis e modestos subsidiários.

A observação de um conjunto de fenómenos ou a identificação de um problema num certo contexto real nunca são realizadas isoladamente, tendo papel marcante, no significado dessas observações ou identificações, os envolvimento prévios do sujeito que observa com esse real. Mesmo que esse envolvimento nunca tenha existido, assiste ao observador a capacidade de elaborar a sua interpretação dos fenómenos e realizar, no seu contexto técnico/cultural, um quadro conceptual do observado.

Um primeiro passo fundamental para que o percurso de investigação se realize consiste na identificação da sede ou suporte material onde se insere o Problema Primário escolhido. Este suporte (ainda no âmbito do real) constitui o *objecto* sobre o qual vai recair um conjunto diversificado de procedimentos sensitivo/cognitivos, que permitirão delimitar espacialmente e temporalmente esse

mesmo *objecto*. Esta delimitação, definição de uma (ou várias) fronteiras, constitui um passo importante, na medida em que dele resultará a identificação dos fenómenos influentes na parcela do *objecto* onde existe o Problema Primário definido.

Consequentemente, a escolha dos fenómenos que se observam e medem implica uma subjectividade associada ao ponto de vista de quem a realiza. Mesmo o modo de observar e medir surge influenciado pelos meios técnicos para a realização dessas tarefas, pelo que a escolha dos limites do *objecto* e dos fenómenos a considerar nunca é livre e arbitrária.

Esta delimitação e escolha acarreta consigo o princípio já referido de que o real, na sua globalidade, é impossível de ser conhecido. Na investigação assume-se a complexidade do observado e procede-se a simplificações.

Na marcha normal da investigação, depois de nos apercebermos de todas as parcelas directamente ou indirectamente influentes na entidade onde existe o Problema Primário e de termos, por esse meio, delimitado o *objecto*, passamos a observar e, onde for possível a medir (quantificar) os fenómenos que dele são atributos. Essas medições não devem ignorar as várias fontes existentes, mesmo as que não são explícitas como por exemplo, opções administrativas, comportamento do mercado, condicionalismos resultantes de legislação laboral, métodos expeditos de pré-dimensionamento, dados de ensaios prévios ou piloto ou mesmo de experiências industriais comparáveis.

Se os valores medidos desses atributos são constantes, consideram-se propriedades fixas do *objecto*, que lhe dão corpo e estrutura formal. Se são variáveis no tempo e/ou no espaço, esses atributos correspondem a actividades que vão caracterizar os diferentes comportamentos do *objecto*. As actividades podem ser consideradas como processos estruturados, passíveis de uma interpretação, pelo que têm de intencional. Não devemos esquecer que o que nos prende a atenção continua a ser um artefacto. E, apesar de intencionais, as actividades não se desenrolam em lapsos rígidos de tempo, o que lhes confere um certo cariz de eventos aleatoriamente condicionados.

Esta descrição fenomenológica do artefacto, baseada em observáveis, e com vista à sua delimitação, considera-se uma descrição sistémica e também carregada de intencionalidade. Estamos no caminho de criação de um novo artefacto, o modelo.

Tudo aquilo que não é explicitamente incorporado na descrição do *objecto*, mas que de alguma forma possa exercer influência sobre ele, deve ser considerado como o seu *ambiente*.

Distinguem-se, neste, entradas ou alimentações (que são actividades que influenciam o *objecto*) e condições, que são propriedades relevantes para este.

As actividades do *objecto* que repercutem sobre o *ambiente* constituem as saídas ou produtos.

Sistema

Todo este processo de identificação do artefacto, decompondo-o e escolhendo os seus limites, caracterizando os seus componentes, propriedades e actividades, fazendo diminuir o seu conteúdo conceptual, mas aumentando a sua eficácia com vista à construção de um outro artefacto mais manipulável, é uma transformação do *objecto* em **Sistema**. Este último possui unidade global, onde, perante o quadro temporal e espacial em que se insere, o ambiente não o retroalimenta, o que significa que as suas saídas não podem ser realimento para o *Sistema* nem mesmo influenciar essa alimentação.

Conseguido o *Sistema*, o artefacto original, no nosso caso a pedreira, perde interesse durante longos períodos da investigação, regressando-se a ele somente para controlo empírico dos resultados obtidos pela simulação (resultados abstractos). O *Sistema* converte-se no centro de interesse da investigação, o que é o mesmo que aceitar que se está a estudar o *objecto* de um ponto de vista restrito e bem definido. O estado de desenvolvimento do estudo de um artefacto como o que ora nos ocupa estará relacionado com o número sucessivo de Sistemas em que foi transformado, necessariamente hierarquizados de acordo com o grau crescente de complexidade.

Possuir o Sistema significa que foi possível construir um modelo baseado nas actividades de todos os elementos que o integram e nas relações de interacção entre todos esses elementos.

O estado da investigação em que nos encontramos, como já referimos anteriormente, ainda não nos permite formular cabalmente modelos genéricos em que relações fenomenológicas sejam claras e onde se possam invocar analogias com outros Sistemas de outras áreas do conhecimento, ou mesmo deduzir simples princípios físicos comuns que governem as relações existentes. Nessa fase (da qual sem dúvida nos aproximaremos um dia, mas que ainda se encontra a alguma distância mercê da complexidade acrescida pela existência de factores como sejam o carácter descontínuo de muitas actividades, a influência directa do comportamento aleatório humano, a existência de variáveis

discretas, etc) ser-nos-á permitido estruturar os modelos e os artefactos sob a orientação de regras de optimização claras para as nossas intenções. O caminho para essa fase obriga a um grau aprofundado de conceptualização que afincadamente perseguimos mas que ainda não atingimos, bem como a concretização de um conjunto de paradigmas que garantam a existência de um núcleo duro para este ramo do conhecimento e da acção do mineiro.

Construímos um modelo que recorre a leis de probabilidade conhecidas para reproduzir, de forma aleatória, as actividades ou variáveis não constantes intrínsecas aos elementos do *objecto*. Claro que o uso dessas leis acarreta um nível de resolução, associado a um certo grau de ajuste da lei aos dados finitos recolhidos junto do artefacto, necessariamente eivado de erros. O uso de leis de probabilidade (através da manipulação de médias e desvios padrão recolhidos) obriga a interacções periódicas com o artefacto com vista a obter dados que permitam reproduzir o mais fielmente possível as actividades nele existentes.

Dado serem reais e fortes as componentes aleatórias no artefacto, o comportamento do Sistema inferido pela simulação não pode ser considerado representativo das relações dos elementos de uma dada configuração no esquema modelado, se a simulação não possuir uma característica fundamental: representar um estado estacionário da evolução do Sistema. Por outras palavras, é necessária uma estratégia de encadeamento das experiências de simulação que permita estabilizar a média dos resultados de todas as variáveis que num dado momento são consideradas como relevantes para os fins em vista. Com esta preocupação de estabilização estamos a garantir a não paragem dos ensaios de simulação em situações peculiares de reduzida probabilidade de ocorrência. Em posfácio apresentamos uma descrição, sob um ponto de vista muito particular, do ambiente de uma pedreira, realçando um conjunto de acontecimentos reais que se tomam visíveis ao observador especialmente colocado sob esse ponto de vista. Uma outra qualquer forma de observar a realidade onde se insere o Problema Primário não daria conta de alguns desses acontecimentos, mas sim de outros mais evidentes nesse outro modo de observação. A descrição que se apresenta foi importante para nós, pois ao realizá-la fizemo-la com a intenção de realçar precisamente um grande conjunto de fenómenos reais que traduzem a aleatoriedade de muitas das actividades em questão. Os factores responsáveis por essas aleatoriedades são de diversa índole, podendo ser de ordem técnica, climatérica, organizacional ou comportamental. Daí a necessidade de, depois de

obtido um modelo probabilístico para as actividades em questão, proceder a um número de repetições dos relevos garantindo a representatividade dos resultados finais

Obtido um modelo, a fase de simulação permite colocar esse modelo em actividade, dando-lhe uma dinâmica semelhante, mas não igual, à actividade do artefacto original.

A necessidade de se proceder à análise e interpretação das actividades do Sistema obriga a que se defina uma estratégia de representação adequada dos resultados da simulação. Uma forma de representação por nós usada é a que recorre a diagramas de variação de actividade ou de outros parâmetros de observação, constituídos por colecções de gráficos resultantes de diversas configurações de elementos do Sistema previamente definidas segundo estratégias variadas. Estas representações tendem a permitir visões sintéticas e a realçar aspectos qualitativos/quantitativos das actividades ou eventuais fenómenos a elas associados.

Algumas consequências

É da análise da coerência lógica dos resultados obtidos nas representações e da sua confrontação com o que se sabe da realidade, à luz do quadro conceptual que possuímos sobre o *objecto*, que poderão surgir novidades que permitam alterar esse mesmo quadro.

Parte-se de uma certa distância do real, muitas vezes caracterizada pela ignorância dos fenómenos que existem e não se observam, de uma posição simbolista (descrente da possibilidade de acreditar que existem e se possam vir a ver e entender esses fenómenos); e, através de uma metodologia de actividade, pode passar-se a um realismo transformador da visão anteriormente nebulosa, clarificando-a, permitindo “dominá-la” quando exista ou projectando-a quando não exista.

Capítulo IV
Identificação da sede do Problema Primário

“... Mais do que em qualquer outro lugar da Terra, aqui, no limiar tumultuoso do oceano (escarpas de Point du Raz) se concentra essa força misteriosa – a incessante agitação do Universo, sem a qual nada existiria... O próprio tempo chegaria ao seu termo, quando todo o movimento cessasse”
(Young, L.B., 1986)

O objecto e os seus limites

A questão do dimensionamento de uma tolva para alimentação de um britador primário obriga a identificar as entidades e acontecimentos que directamente ou indirectamente exercem influência no seu funcionamento. Esta identificação permitirá estabelecer os limites do *objecto* onde se insere este Problema Primário.

Comecemos por caracterizar este artefacto.

A tolva costuma ser considerada como um dispositivo destinado a realizar operações auxiliares ou acessórias da preparação de minérios. As missões mais ou menos explícitas de uma tolva consistem em possibilitar uma alimentação o mais regular possível ao britador primário, em garantir um certo armazenamento de material para as etapas seguintes de transformação e em amortecer os efeitos derivados da descontinuidade típica da actividade das unidades de transporte (que actuam a montante). Com estes desideratos procura-se uma maior eficácia do desempenho de cada máquina, bem como do conjunto de operações de todas as máquinas envolvidas na exploração e transformação.

Analisemos um pouco melhor estes três objectivos.

A regularidade na alimentação de uma máquina é função das características da máquina e do material que ela vai transformar. No caso que nos ocupa, trata-se de material graúdo, proveniente de uma frente de desmonte de uma pedreira e que foi obtido por um meio de desmonte, por exemplo,

com explosivos. Trata-se de material que não sofreu qualquer tipo de classificação e que resulta da interacção entre as características geológicas e mecânicas do afloramento rochoso e o diagrama de fogo usado para o seu desmonte. Esta falta de classificação fará com que a regularidade de alimentação pretendida resulte fortemente perturbada. Um modo de diminuir este facto consiste no recurso a operações auxiliares de fragmentação ainda na frente de desmonte, nomeadamente o taqueio ou a quebra com martelos demolidores (arietes hidráulicos) ou cilindros de aço de elevada tonelagem (pilões). Um britador primário, possuindo uma goela de entrada limitada, verá a sua eficácia perturbada caso um bloco de maiores dimensões não penetre devidamente na câmara de fragmentação. Tal acontecimento não será frequente em máquinas de fragmentação secundárias, já que o material que lhes chega será de calibre menor e mais regular devido aos dispositivos de classificação por que passou. Em certas máquinas secundárias é mesmo frequente o seu funcionamento a “goela plena” como forma de aumento da sua eficácia. A regularidade e continuidade dos processos vai aumentando à medida que o calibre dos materiais vai diminuindo e à medida que estes são colocados em lotes de tamanhos com limites cada vez mais apertados. Esta é uma explicação adicional e certamente não despendi para clarificar a forte descontinuidade que caracteriza as actividades de lavra de minas.

Posfácio – 60

Posfácio – 143

A reserva de material armazenado numa tolva funciona como stock de alimentação do britador caso alguma vicissitude adversa afecte o modo de desempenho das unidades de carga e transporte que actuam a montante. Ao mesmo tempo, o volume livre da tolva, disponível para armazenar mais matéria prima, permitirá que os meios de transporte realizem a descarga do material transportado, minimizando os tempos de espera para essa operação.

Assim, numa primeira análise, uma tolva bem dimensionada poderá permitir que os índices de utilização das unidades de transporte e do britador possam ser maximizados, aumentando o rendimento individual e global das operações a que se encontram destinados.

É habitual a tolva situar-se imediatamente a montante do britador primário e, logicamente, com a sua boca de descarga a um nível superior à boca de alimentação deste.

Posfácio – 106 a 110

Costuma ser construída em betão armado ou em chapas de ferro e possuir uma geometria paralelepédica com fundo em forma de pirâmide invertida.

A descarga da tolva para o britador realiza-se por intermédio de um alimentador de arrasto ou vibratório comandado a partir de um local de controlo geral do sector de britagem. O funcionamento deste alimentador é frequentemente intermitente, fruto do regime de actividade do britador. Nomeadamente quando há encravamentos ou quando determinada porção de rocha demora mais tempo a ser fragmentada, a descarga do material depositado na tolva necessariamente terá que ser interrompida por questões de segurança e de funcionamento do britador. Podemos então admitir que o ritmo alternado de funcionamento e paragem do alimentador de fundo da tolva traduzirá o ritmo de actividade e paragem do britador primário que alimenta.

Posfácio – 140

Posfácio – 143 a 146

A jusante do britador é frequente existir um meio de transporte contínuo do material fragmentado pelo britador primário, vulgarmente uma tela transportadora que o conduz a um stock (pré-stock) de grande capacidade. Este pré-stock é o garante da produção da empresa por um dilatado período de tempo, caso na exploração ou na britagem primária ocorram interrupções importantes. Este espaço de armazenamento inibe (numa certa escala temporal e espacial) a influência do restante esquema de fragmentação e classificação que lhe está a jusante sobre a tolva que pretendemos dimensionar. No contexto que estamos a propor, será a sua entrada o limite final (fronteira) do nosso *objecto*.

Posfácio – 106 a 108

Podemos, portanto decidir que o regime de funcionamento do britador englobe as anomalias do próprio funcionamento do britador, assim como do meio de transporte do material fragmentado até ao pré-stock. Ao mesmo tempo, dado que o modo de operação do alimentador do britador reproduz o funcionamento desse britador, uma análise cuidada da sua actividade poderá ajudar a entender a influencia dos dispositivos que se lhe seguem sobre o funcionamento da tolva.

Resumindo, o limite final do *objecto* para análise do Problema Primário será a descarga no pré-stock, encontrando-se as características das actividades das unidades a jusante da tolva e responsáveis pelo regime de esvaziamento desta patentes no modo de funcionamento do alimentador do britador.

Analisemos agora o que se passa para montante da tolva.

O material que chega ao dispositivo de armazenamento em estudo é proveniente de frentes de desmonte e afluí intermitentemente por intermédio de camiões de transporte de diversas capacidades. Estes executam um ciclo de actividades iniciado nas frentes de desmonte, onde cada camião é carregado com material por intermédio de unidades de carga, vulgarmente pás carregadoras. Segue-se uma viagem através de pistas de circulação desenhadas estrategicamente para permitir um afluxo tão regular quanto possível do material e para minimizar a distância a percorrer pelos camiões. Pelo menos intencionalmente é assim que se procede. Certos tramos destas pistas costumam manter-se inalterados ao longo de largos períodos de tempo ou mesmo durante toda a exploração da pedreira. Porém, também é frequente a realização de alterações drásticas na geometria das pistas quando algum acontecimento externo ocorra. Por exemplo, se a empresa exploradora adquire um terreno que confina com a pedreira já existente, para integrar o novo volume de crusta na exploração que pratica, pode necessitar de refazer, ao longo de um período de tempo, as pistas principais de circulação. Outros tramos, mais curtos e em geral de acesso pontuais aos pisos da pedreira, costumam ser alterados com mais frequência para permitir um ritmo de desmonte mais adequado à estratégia definida pela direcção técnica da empresa.

Posfácio – 36, 46

A viagem de ida inicia-se na frente de desmonte e termina numa plataforma de descarga situada acima da tolva.

Descarregado o material, os camiões realizam uma viagem de regresso ao local de carga, frequentemente pelo mesmo trajecto realizado na viagem de acesso à tolva.

Posfácio – 110, 111, 116, 117, 130 a 136

A capacidade das unidades de transporte e o ritmo a que estas chegam à plataforma de descarga serão os dois parâmetros a considerar na análise do fluxo de material que alimenta a tolva. Daí que, para se poder considerar esse ritmo de chegada, se tenha que observar o esquema de carga dos camiões, o qual directamente influencia a frequência de chegada à tolva.

Desloquemos então a nossa atenção um pouco mais para montante deste processo, focalizando o que se passa na zona de carga.

Junto à frente de desmonte amontoa-se o material desmontado, proveniente de uma actividade previamente realizada, o desmonte, supostamente executado por meio de explosivos.

Dada a periculosidade do processo explosivo (é o que estamos a considerar, por ser o processo de desmonte mais frequente nas pedreiras nacionais), esta operação realiza-se durante a pausa para almoço do pessoal adstrito à actividade de remoção ou, alternativamente, no final de um dia de trabalho. As operações que antecedem a detonação (a perfuração da rocha e carregamento de explosivos) podem realizar-se paralelamente com as operações de carga e transporte do material desmontado, dado não interferirem com esta e por despendem algum tempo a concretizar-se. A detonação processa-se quase que instantaneamente, produzindo-se em curto intervalo de tempo material em abundância para as tarefas que se lhe seguem. É frequente um dia de trabalho não esgotar totalmente o material resultante de uma pega de fogo.

Posfácio – 59

Posfácio – 57

Pelo que acabamos de expor, o desmonte processa-se claramente com quase total independência relativamente às actividades que lhe estão a jusante, disponibilizando matéria prima para estas; daí podermos considera-lo, em primeira aproximação, já fora do limite inicial do *objecto* que queremos definir.

A operação de carga processa-se também intermitentemente por meio de uma interacção entre um camião de transporte e uma máquina móvel tipo pá carregadora ou retro-escavadora. Este par de máquinas em geral não é fixo, variando de acordo com a disponibilidade quer de umas quer de outras em função do ritmo das operações que realizam.

Um outro aspecto a considerar e que de alguma forma irá interferir no afluxo de material à tolva, relaciona-se com uma actividade frequente das máquinas de carga: o material proveniente da realização de uma pega de fogo, fica disperso numa área mais ou menos vasta e irregular em frente ao degrau da pedreira de onde se destacou. Não é possível obter um bom rendimento da operação de carga sem que se proceda a alguma arrumação desse material disperso. Essa arrumação costuma realizar-se ao longo do turno de actividade das máquinas de carga e precisamente repartida entre momentos sucessivos de carregamento de camiões de transporte.

Posfácio – 58

Temos então construída uma opção de delimitação e caracterização genérica do *objecto* onde se insere o nosso Problema Primário.

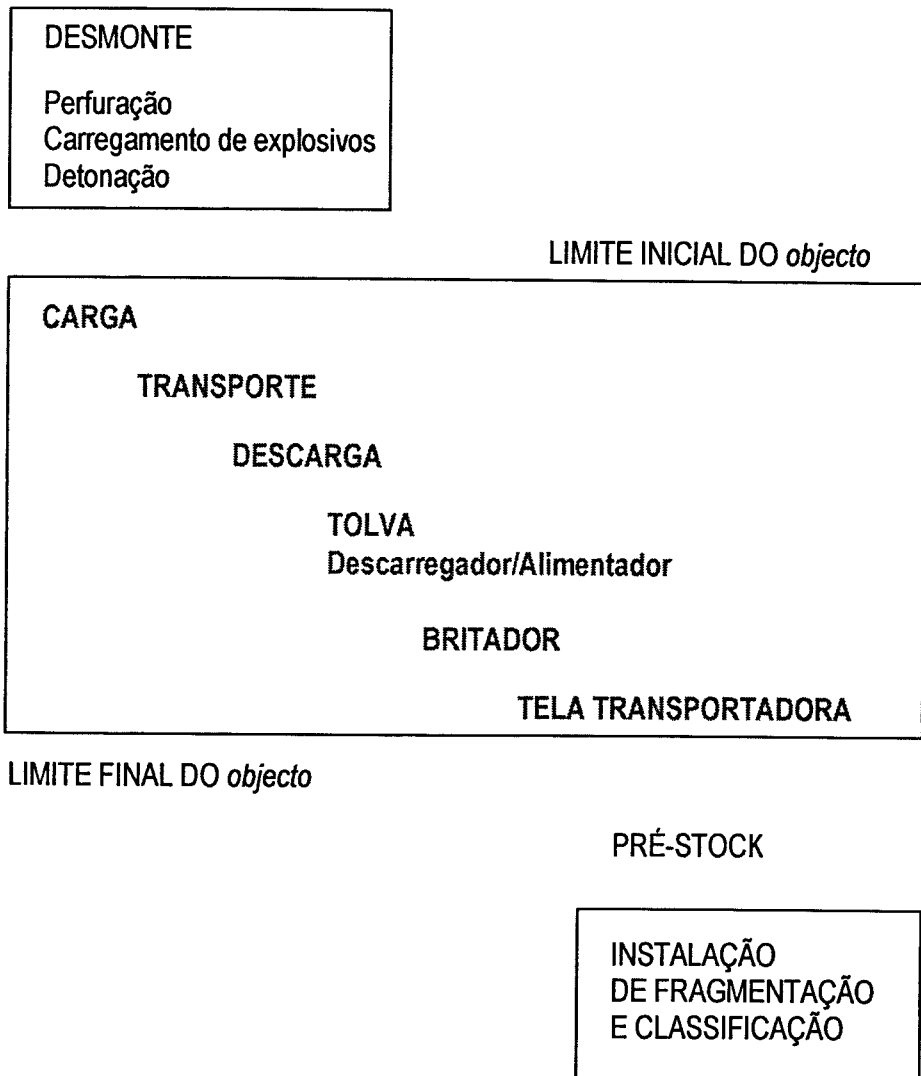


Fig. IV - 1

Capítulo V
Quantificações possíveis por consulta, contagem e
medida

*“Sendo entendido que os modelos sem dados não
têm nenhum valor previsivo ... os dados sem
modelos estabelecem a confusão”
(Jacques Louis Lions, citação em
Sistema Terra de Ichtiague Rasool, 1993)*

Contagens e medidas no *objecto*

Assumindo que só é possível investigar um *objecto* de um ponto de vista restrito e bem definido, ou seja um “*objecto em contexto*”, procedemos à tarefa de quantificar tudo o que é quantificável, necessariamente desde que considerado importante para a construção do modelo em vista. A nossa atenção terá que recair sobre as actividades e propriedades fixas do *objecto*. A amarração ao nosso ponto de vista (de certeza restrito e limitado porque dependente do nosso conhecimento do *objecto*) faz da tarefa de quantificação uma actividade da qual resultam dados também eles fortemente condicionados pela leitura particular que se faz do *objecto*, bem como dependentes dos meios e capacidades de medida.

Esta tarefa de contar e medir no *objecto* obriga a uma penetração mais profunda nos pormenores de funcionamento dos diferentes elementos que actuam no seu interior. O grau de decomposição, de identificação dos domínios parcelares aumenta, aproximando-nos daquilo que podemos definir como tarefas elementares significativas. A estes domínios parcelares, poderemos chamar as Componentes do *objecto* que no final serão as componentes do Sistema.

Comecemos por um dos limites do *objecto*, identificando e analisando os elementos ao nível do seu comportamento parcelar e quantificando o que for plausível quantificar.

Detenhamo-nos nas unidades de carga, vulgarmente pás-carregadoras, e descrevamos o seu ciclo de actividade.

Considerando que cada uma delas executa dois tipos de tarefa, arrumação do material disperso na praça da bancada da pedreira e expurgo dos blocos com dimensões incompatíveis com a colher da pá e/ou com a abertura do britador (actividade singular) e carregamento de camiões (actividade de interferência entre unidades), admite-se que estas duas actividades se executam sempre alternadamente. Estas tarefas constituem o ciclo mínimo das pás-carregadoras.

Este ciclo mínimo de actividades pode resumir-se da seguinte forma:

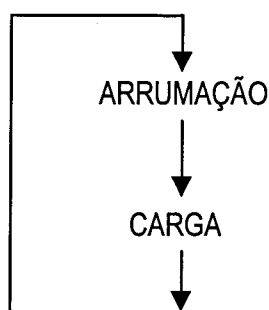


Fig. V - 1

O número de unidades deste tipo é uma primeira propriedade passível de ser quantificada num esquema real observado. Naturalmente que esse número será função de uma estratégia da empresa, tendo em conta os objectivos definidos em termos de produção pretendida e de recursos deste tipo disponíveis. Uma outra quantidade, atribuída a cada pá-carregadora por construção, é a da capacidade do seu balde de carga. Esta propriedade pode assumir diferentes valores de acordo com as configurações geométricas do material acomodável no balde dependendo ainda do grau de fragmentação desse mesmo material. Podemos considerar o valor em catálogo como o valor médio, plausível e suficiente para a construção do modelo.

Neste cenário de organização, podemos atribuir limites reais para as duas actividades definidas e medir sucessivos valores de tempo despendido por cada máquina para as executar. Essas medidas são vulgarmente realizadas por equipas de observadores, munidos de cronómetros e colocadas em locais estratégicos da pedreira. No entanto, é possível realizar estas medidas recorrendo a um dispositivo computacional previamente programado, permitindo em simultâneo

registar os diferentes tempos de tarefa relativos a diferentes máquinas. Naturalmente que este procedimento obriga à existência de um local adequado de onde se possa observar o início e fim de cada uma das actividades de cada máquina.

Será importante referir desde já um problema que nem sempre é tido em consideração e que pode influenciar e condicionar os dados recolhidos, desvirtuando-os e retirando-lhes o significado real que procuramos. Trata-se da influência (interna) que a realização deste tipo de medida pode exercer sobre os operadores das máquinas, deixando-os psicologicamente apreensivos, condicionando o seu comportamento e consequentemente alterando o regime normal da sua actuação, que é efectivamente o procurado. Para obviar a este tipo de situação, é costume excluir os primeiros conjuntos de valores medidos, considerando-se somente os determinados posteriormente a um período de adaptação das equipas de manobreadores a esta “nova” tarefa imposta pela metodologia que estamos a implementar.

A tarefa de arrumação pode ser considerada iniciada no instante em que a pá-carregadora parte para os sucessivos movimentos de investida sobre o monte de material mais ou menos disperso na praça da pedreira. Pode considerar-se terminada no momento em que inicia o movimento para encher o balde de carga com material para depositar na caixa do camião que aguarda para ser carregado. Naturalmente que o rigor dos limites de início e fim desta tarefa será baixo na medida em que a sua determinação está dependente do observador à distância e que, naturalmente, não estabelece contacto próximo com o comportamento dos operadores das máquinas. Para diluir este carácter subjectivo das medidas, realizam-se tantas repetição das medidas quantas as que se acharem estatisticamente necessárias.

Há factores condicionantes deste tipo de actividades que obrigam à realização de frequentes campanhas de recolha de dados. É obvio que o comportamento de uma máquina num dia de chuva e fraca visibilidade será substancialmente diferente do que terá lugar com tempo seco e boa visibilidade. Este exemplo mostra que existirão dois tipos de desempenho de uma actividade, dependentes da influência de condicionantes externas ao objecto e que serão consideradas como componentes do “ambiente” onde se insere o *objecto*. Outros factores, também externos e directamente relacionados com aspectos comportamentais dos operadores – logo, de carácter psicológico - podem influenciar o desempenho de uma actividade. Uma má disposição, um problema pessoal ou somente a derrota ou vitória do clube de

que é adepto, pode levar o condutor de uma pá-carregadora a fazer as manobras necessárias a uma das suas missões de maneira muito diferente daquela com que normalmente as executa.

Tudo isto aponta, desde já, para o carácter altamente variável dos tempos de tarefa quando a componente humana, quer de execução quer de medida, estão presentes.

Passemos à actividade de carga.

A uma qualquer pá carregadora em actividade, com determinadas características de capacidade e de funcionamento, pode chegar um qualquer camião em serviço na pedreira. Esse camião, possuindo também um dado volume disponível para carga, irá ser carregado num intervalo de tempo dependente da relação de capacidades do balde da pá e da sua caixa de carga.

Para executar a carga de um camião, a pá terá que repetir um ciclo mínimo de actividades um número de vezes correspondente ao valor inteiro superior ao quociente entre a capacidade da caixa do camião e a capacidade do balde da pá. Essas actividades elementares podem ser esquematizadas da seguinte maneira:

Posfácio - 67

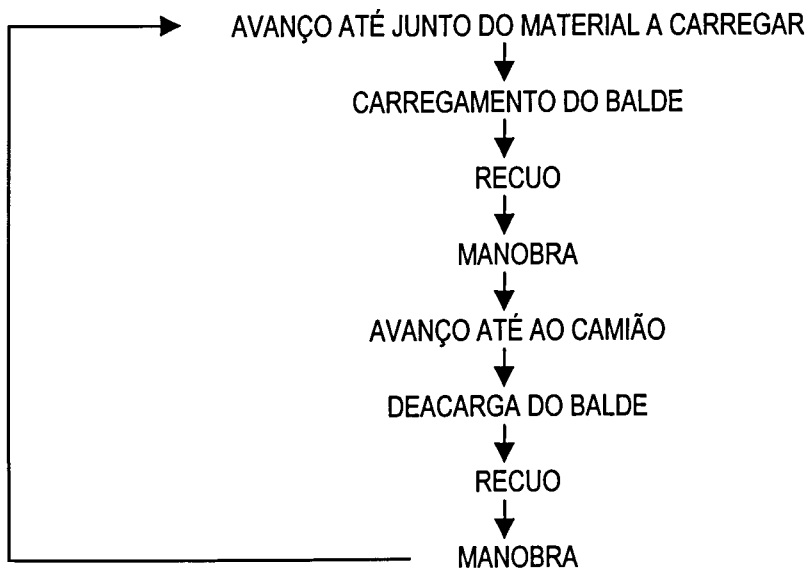


Fig. V - 2

Admitimos que o tempo de actividade de carga, apesar de depender dos dois tipos de máquina, é um atributo da pá em virtude de esta possuir uma componente activa enquanto o camião se encontra numa posição de estacionamento, logo de inactividade. O diagrama de ciclo mínimo anterior permite balizar os acontecimentos que vão determinar a medição dos sucessivos tempos de ciclo mínimo de carga a considerar no futuro modelo.

Esta atribuição permite eliminar a análise de uma actividade do camião que corresponde aos movimentos para um posicionamento mais adequado à actividade de carga. Trata-se, em geral, de um movimento de avanço em curva e recuo para as proximidades da zona de movimentação da pá-carregadora. Esta actividade do camião muitas vezes executa-se em paralelo com os movimentos iniciais do primeiro ciclo mínimo da pá, daí decorrendo que possa não ser contabilizada.

Segue-se um exemplo de um histograma de frequências de tempos de carga de um camião recolhidos na pedreira – Quinta do Moinho, Canidelo, Vila Nova de Gaia - local que foi e continua a ser um campo de obtenção de dados e de observação do sistema que simulamos. A maior ou menor dispersão que um histograma destes evidência é directamente relacionada com a maior ou menor variedade de capacidades das caçambas das pás carregadoras e das caixas dos camiões.

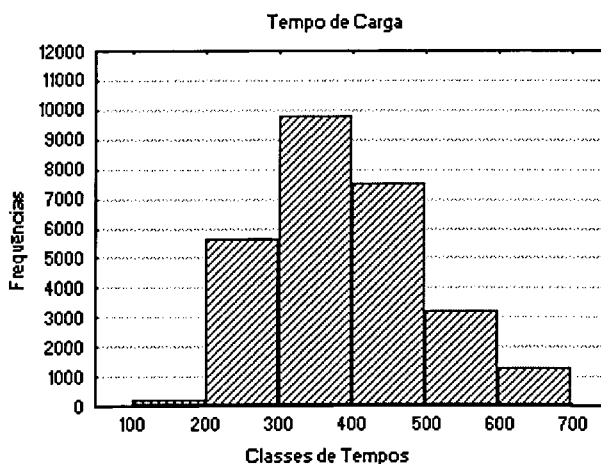


Fig. V - 3

Passemos às quantificações das propriedades e actividades relacionadas com os camiões e passíveis de serem medidas.

De igual modo, o número de camiões e a sua capacidade serão quantificados respectivamente atendendo à disponibilidade de meios existentes no contexto em que a análise estiver a ser feita e ao valor apresentado em catálogo.

Carregado o camião, inicia-se a viagem de ida até à tolva. Esta faz-se ao longo de pistas de circulação criadas para o efeito, respeitando e adaptando-se à geometria da exploração. A tentativa de encontrar soluções que permitam minimizar este percurso é outra das tarefas auxiliares que um projecto ou exploração tem sempre em conta. Trata-se de minimizar os custos inerentes ao transporte, altamente influentes na viabilidade dos empreendimentos mineiros: *“Com efeito, pela incidência económica que possuem e pelo melindre de que se reveste a abordagem dos problemas que suscitam, os transportes constituem uma questão de tal acuidade que é corrente ouvir-se convictamente afirmar que à sua correcta formulação e resolução se reduzem, em última análise, as verdadeiras e reais dificuldades da exploração de minas na actualidade. Segundo este aforismo, os custos dos transportes vêm a ser a autêntica pedra de toque que nos permite aferir a maior ou menor rendibilidade de um empreendimento mineiro, quando não as próprias hipóteses de viabilização prática do mesmo”* (Miranda, 1986).

Posfácio – 85, 94

O tempo desta viagem estará fortemente correlacionado com o tipo de camião que a realiza. As condições de operacionalidade da máquina, a sua capacidade de transporte, o grau de carregamento, novamente o comportamento do maquinista, o estado e comprimento das pistas, as condições atmosféricas reinantes, etc, são também factores que vão, no seu conjunto, ditar a variabilidade dos tempos da viagem. Naturalmente que essa variabilidade poderá, para um certo período de tempo e mantendo as condições gerais de operacionalidade, ser enquadrada em limites, podendo mesmo indicar-se um valor médio resultante de medidas efectuadas por amostragem.

Admitimos que este tempo de ida da frente de desmonte até à plataforma de descarga da tolva se contabiliza iniciando-se a contagem no momento em que o camião arranca para essa viagem e terminando-a quando este se imobiliza nas proximidades da tolva. Quando o percurso a realizar é demasiado longo, não possibilitando a existência de um local de onde possa ver-se simultaneamente o início e fim da viagem, terá que se proceder à decomposição do trajecto em segmentos que

permitam proceder à medida desses intervalos de tempo, passando o tempo total de viagem a corresponder à soma dos tempos parciais de cada segmento.

Igual análise deve ser feita para a viagem de regresso desde a tolva até à frente de desmonte. Esta inicia-se quando o camião inicia a sua marcha, no final da descarga do material que transportava, e termina quando se imobiliza nas proximidades das pás-carregadoras.

Novamente com o intuito de exemplificar, apresentam-se dois histogramas que correspondem aos tempos de ida e regresso realizados por uma mesma máquina e sob as mesmas condições de operacionalidade. Foram, pois, colhidos na mesma campanha de observações.

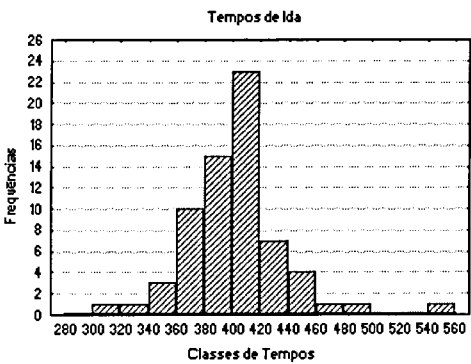


Fig. V - 4

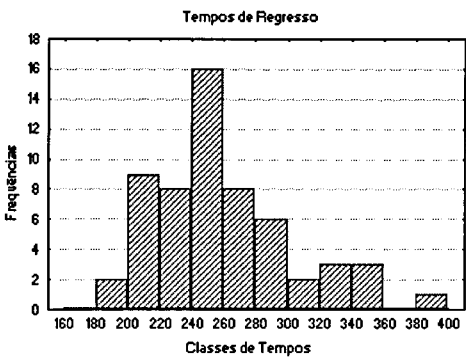


Fig. V - 5

A maior irregularidade e dispersão dos valores correspondentes aos tempos de regresso são perfeitamente explicados com a observação

Posfácio – 65, 87, 94, 96 a 101

de certos procedimentos vulgares por parte dos condutores dos camiões. Por exemplo, devido ao peso de material transportado na viagem de ida e pelo facto de o percurso ser normalmente ascendente, esta costuma ser realizada a velocidade bastante constante, sendo as viaturas que efectuem a viagem de regresso aquelas que se imobilizam em locais de cruzamento. Este procedimento de paragem é vulgar no cimo das rampas entre pisos das pedreiras. Ora, a velocidade aproximadamente constante no percurso de ida e a não interrupção da realização desta actividade origina uma pequena dispersão no histograma respectivo. Já a possibilidade real de paragem, admitida como disciplina no tráfego na actividade de regresso, aquando da ocorrência de cruzamento nas rampas, provoca alguma maior dispersão nos histogramas da actividade de regresso. No entanto, o tempo médio da viagem de regresso é francamente

Posfácio – 131 a 134

inferior ao de ida.

Mais umas palavras relativas às pistas onde se processam as viagens de ida e regresso dos camiões. Naturalmente que cada pedreira terá a sua filosofia de solução para o modo como os camiões devem circular nessas pistas. No entanto, é comum considerarem-se as pistas suficientemente largas para que camiões envolvidos naquelas duas tarefas não interfiram mutuamente, sendo mesmo vulgar a possibilidade de se realizarem ultrapassagens durante cada uma das viagens. Claro que há situações de configuração mistas onde em certos locais (zonas de constrangimento como por exemplo nas rampas entre pisos) não é permitido o cruzamento e em tramos de maior regularidade são permitidos os cruzamentos e ultrapassagens.

Posfácio – 96, 135

Entre os dois tipos de actividade descritos, viagens de ida e regresso, existe sempre a actividade de descarga. Inicia-se no momento em que o camião arranca para as manobras de posicionamento para a descarga e termina quando a última quantidade de material abandona a caixa de carga ou quando a caixa de carga atinge a posição de descanso horizontal. Estes limites, a partir dos quais se quantifica a tarefa de descarga são muitas vezes, na pedreira, difíceis de estabelecer. Como exemplo desta dificuldade, analisem-se os parágrafos 116 e 130 do Posfácio.

Posfácio – 116, 130

Podemos representar este ciclo mínimo de actividades dos camiões da seguinte maneira:

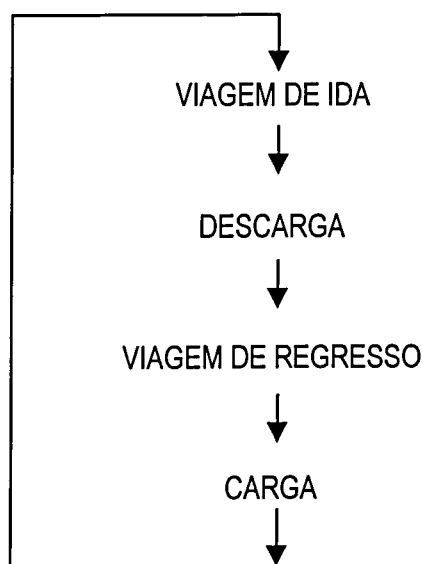


Fig. V - 6

No limite final (fronteira) do *objecto*, é necessário considerar mais um tipo de actividade quantificável: o ritmo de descarga variável da tolva que, como vimos, pode caracterizar o regime de funcionamento do britador, da tela transportadora que frequentemente lhe está a jusante e do pré-stock.

Dadas as características eléctricas do modo de accionamento do descarregador da tolva e ao mesmo tempo alimentador do britador, geralmente conseguido por intermédio de um dispositivo de interruptores, resulta facilitada a recolha de informação com vista à quantificação do regime de funcionamento do alimentador em estudo.

É possível registar os instantes de tempo sucessivos de arranque e paragem do descarregador/alimentador de forma automática, usando um computador portátil ligado ao conjunto de contactores que o accionam. Posteriormente, realiza-se uma operação de quantificação dos intervalos de tempo relativos aos períodos de funcionamento e paragem da máquina. Foi isso que fizemos.

Posfácio – 141, 146

O ciclo de actividades do alimentador pode ser representado da seguinte forma:

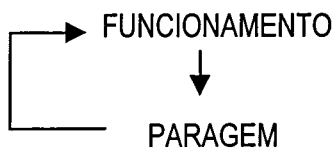


Fig. V - 7

Capítulo VI

Componentes do objecto. Interacções

*“Nenhuma cadeia é mais forte do que o mais fraco
dos seus elos”*

(Henri Fayol,

<http://albie.wcupa.edu/ttreadwell/group1/oct/messages/502.html>)

Componentes e efeitos das interacções

Como foi possível realçar, as quantificações, por medida ou contagem directa sobre o *objecto*, permitem um grau mais elevado de aproximação aos acontecimentos e ao modo de funcionamento das diversas parcelas desse *objecto*.

Esta aproximação por passos, aumentando o grau de conhecimento do *objecto*, reveste-se de importância significativa com vista à construção do futuro modelo sobre o qual trabalharemos no futuro.

As actividades fundamentais definidas no capítulo anterior representam as missões objectivas que as entidades, máquinas e seus operadores, devem recorrentemente cumprir no quadro geral da actividade fundamental do *objecto*.

A sequência dessas missões concorre, então, para o objectivo final de todo *objecto*. São as partes elementares que interactuam entre si para desempenhar uma função mais vasta.

Porém, no *objecto* e muito mais no sistema, as missões das partes não são concatenadas de forma aditiva simples, supondo que cada uma antecede a outra numa sequência previsível. Pelo contrário, é essencial analisar as diferentes alternativas de interacção que se podem estabelecer entre as partes, definindo-se as missões não intencionais que possam ocorrer. A estas não devemos chamar efectivamente missões, mas sim actividades inerentes à complexidade do *objecto*. Podemos pois concluir que o desempenho de cada uma das partes apresenta forte dependência da interacção entre as restantes. “O todo não representa a soma das partes”.

Veremos que é da análise destas interacções que surgirão alguns pormenores interessantes de comportamento do *objecto* e importantes para o projecto de optimização.

Regressemos então, novamente a cada um dos componentes definidos e tentemos explicitar as interacções entre cada um e os que lhe estão a montante e a jusante na linha de fluxo do material que o sistema transporta. De passagem, sublinhemos que é precisamente a admissão deste conceito de interacção para trás e para diante que faz de cada componente um não-sistema, de acordo com o conceito usado na delimitação do *objecto* como meio e caminho lhe associar um sistema válido.

Ao ciclo mínimo de actividade de uma pá-carregadora é previsível acrescentar uma actividade não intencional que resulta do facto de, em determinados momentos, poderem não existir camiões para serem carregados, imediatamente a seguir ao término da actividade de arrumação. Nessa altura, surgirá um período de tempo de inactividade, variável e dependente do comportamento das unidades de transporte em todo o *objecto*. São as “paragens”

Podemos então representar o ciclo efectivo de uma pá carregadora da seguinte forma:

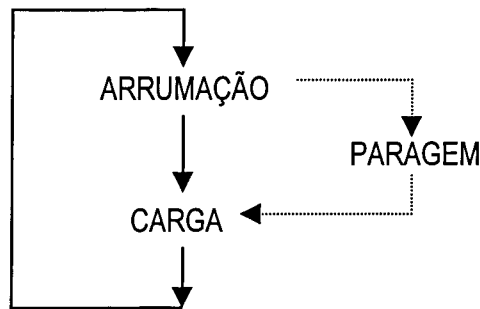


Fig. VI - 1

Podemos desde já explicitar que estes tempos de inactividade, porque muito dependentes de todas as características da globalidade do *objecto*, não são medidos nem quantificados no processo de construção do futuro modelo, mas sim resultantes e quantificados por exploração desse modelo. Esta é uma das vantagens da metodologia usada (alternativamente, uma medida experimental da distribuição dos seus valores pode servir para, em fase posterior do trabalho, refutar/validar o próprio modelo).

Para as unidades de transporte, podemos considerar que ao ciclo mínimo de actividades se podem acrescentar dois tipos de inactividade resultantes da interferência entre aquelas e as restantes partes do *objecto*.

Posfácio – 58

É com relativa facilidade que se pode conceber a possibilidade de, na situação oposta à que acabamos de descrever, um camião, ao finalizar uma viagem de regresso, encontrar todas as pás carregadoras numa das suas duas actividades fundamentais, arrumação ou carga. Nessa altura surge um período de inactividade para o camião, resultante daquele facto. Pode mesmo acontecer que já outros camiões estejam em inactividade quando este termina a sua viagem. Nesta situação forma-se uma fila de espera para a carga. Em termos lógicos, isto significa que a existência de, pelo menos, um camião em fila de espera para a carga é incompatível com o estado de espera de qualquer das pás.

Posfácio – 146

Do mesmo modo se prevê a possibilidade de um fenómeno idêntico acontecer na zona de descarga. Quando um camião termina a viagem de ida para a tolva, pode encontrar formada junto desta uma fila de espera ou então deparar com um camião a realizar a descarga. Numa situação ou na outra, ele vai ser obrigado a imobilizar-se, esperando a oportunidade para executar a sua seguinte tarefa elementar, a descarga.

Estes períodos de inactividade resultam, como vemos, da interacção entre as actividades de cada um dos diferentes domínios parcelares do *objecto* e os restantes. E esta interacção exerce-se mesmo a longa distância. Somente como exemplo, imagine-se que o britador encrava durante um período longo de tempo. Esta paragem repercute-se para montante, originando sequencialmente, a paragem da descarga da tolva, o impedimento da descarga de camiões, a formação de uma fila de espera para a descarga e a inactividade das pás-carregadoras por falta de camiões para serem carregados. Todas estas inactividades acontecerão sucessivamente, ao fim de diferentes intervalos de tempo que são função das características da pedreira e do estado de todos os seus componentes (estado do sistema) no momento do encravamento.

Posfácio – 69

As filas de espera podem ser regidas por diferentes disciplinas, sendo a mais usual aquela em que as unidades são atendidas em função do tempo despendido à espera. As unidades transportadoras aguardam numa só fileira e abandonam essa fileira pela mesma ordem em que chegaram. Por outras palavras, num dado momento o camião que é atendido é o da frente da fila, pois é o que está há mais tempo à espera (disciplina FIFO - First In First Out).

Um outro pressuposto básico consiste em “estipular que não haverá desistências (*abandono definitivo das filas*) o que, nas condições concretas da actividade no objecto, só poderia significar a *imobilização das unidades desistentes por motivo de avaria*” (Miranda, 1986).

Podemos então construir o ciclo efectivo de um camião da seguinte forma:

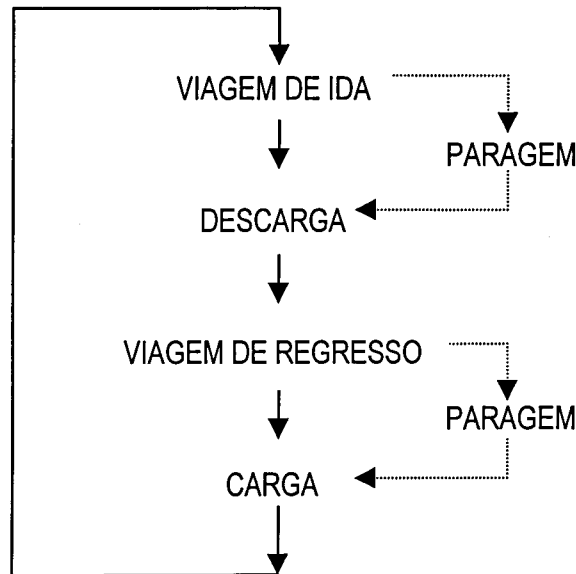


Fig. VI - 2

É com base na relação entre os dois tipos de ciclo, mínimo e efectivo, das máquinas que se pode definir um coeficiente de rendimento ou factor de eficiência de uma sequência de actividades. Como é natural, a minimização dos tempos de inactividade aumentará a eficácia de uma sequência de operações e, consequentemente, melhorará o desempenho global do *objecto*.

Ainda com base no conceito de interacção entre os diferentes componentes do *objecto* e na existência de tempos de inactividade, podemos, numa primeira abordagem, definir o conceito de sincronismo ou condição de balanceamento como sendo a relação entre o número de unidades carregadoras e transportadoras que permita que o fluxo de material carregado seja continuamente absorvido pela frota de transporte e ao mesmo tempo descarregado na tolva, sem que haja esperas de qualquer dos equipamentos envolvidos (ou de modo que resulte mínimo - sincronismo não absoluto – o total de esperas emergentes).

Este é um conceito fortemente enraizado na interacção entre todas as partes do *objecto*.

As actividades da tolva e do britador primário, por possuírem dependência das componentes anteriormente definidas, também podem ser caracterizadas com maior rigor. No capítulo relativo às quantificações, já tínhamos verificado que o aparelho de descarga da tolva e de alimentação do britador primário possuía um ciclo intermitente de funcionamento e paragem, com um ritmo comandado pelo modo de desempenho do britador, da tela transportadora e do pré-stock que lhe estão a jusante.

Posfácio – 141

Porém, há necessidade de precisar um pouco melhor estas actividades, nomeadamente as relativas à tolva propriamente dita.

A tolva, dotada de certa dimensão (dimensão essa que é o centro do nosso problema), costuma ter uma actividade marcada por dois condicionalismos que passamos a referir: naturalmente, a tolva nunca terá material no seu interior em quantidade superior à sua capacidade máxima de volume de construção; ao mesmo tempo, é regra mais ou menos comum nunca deixar a tolva esvaziar na sua totalidade, para que seja possível manter uma certa quantidade de material a realizar protecção ao aparelho de descarga que se encontra no seu fundo. Esta pequena quantidade de material servirá de almofada de amortecimento, impedindo que no momento do basculamento dos camiões o material precipitado no interior da tolva não fira as chapas do descarregador/alimentador.

A possibilidade de existência de três tipos de estados bem definidos para a tolva faz dela uma componente do *objecto* com alguma individualidade que deve ser tida em conta aquando da construção do futuro modelo.

Assim, podemos resumir o elenco de possibilidades de estado da tolva da seguinte maneira:

A tolva pode encher devido a:

- dimensão insuficiente (ou: insuficiente capacidade)
- excesso de afluxo de material oriundo da descarga consecutiva de camiões
- paragem no funcionamento da unidade de descarga/alimentação que se encontra na sua base
- as razões anteriores combinadas

A tolva pode esvaziar até ao nível determinado como sendo o mínimo (e que não será o zero, em virtude do anteriormente exposto - almofada de protecção) por:

- dimensão insuficiente (ou: insuficiente capacidade)

- falta de material devido a diminuta capacidade de transporte dos camiões
- deficiente número e resposta das unidades de carga
- super-eficiente regime de funcionamento do britador e tela/pré-stock que lhes estão a jusante
- as razões anteriores combinadas

Em geral, a tolva apresentará níveis de material no seu interior de acordo com o resultado global de interacção de todas as componentes identificadas (e não identificadas) do *objecto*. Daí a necessidade de assacarmos um elevado grau de complexidade a este *objecto*, sendo importante assumi-lo como tal.

Com vista a melhor compreendermos esta entidade (a tolva) vejamos, em diagrama ao mesmo tempo de estados e acontecimentos em que ela pode estar envolvida (figura VI – 3).

Neste processo, que desejamos conduza à conceptualização de um sistema, podemos pois postular que o nosso *objecto* é constituído por um conjunto de componentes interferentes mas dotados de alguma individualidade, pelo que podem ser modelados com relativa independência. Assim, resumimos essas componentes como sendo a de Carga, Ida, Descarga e Regresso, podendo cada uma ser caracterizada ao pormenor como atrás explicitamos e permitindo nelas proceder a quantificações nos moldes expostos no capítulo anterior.

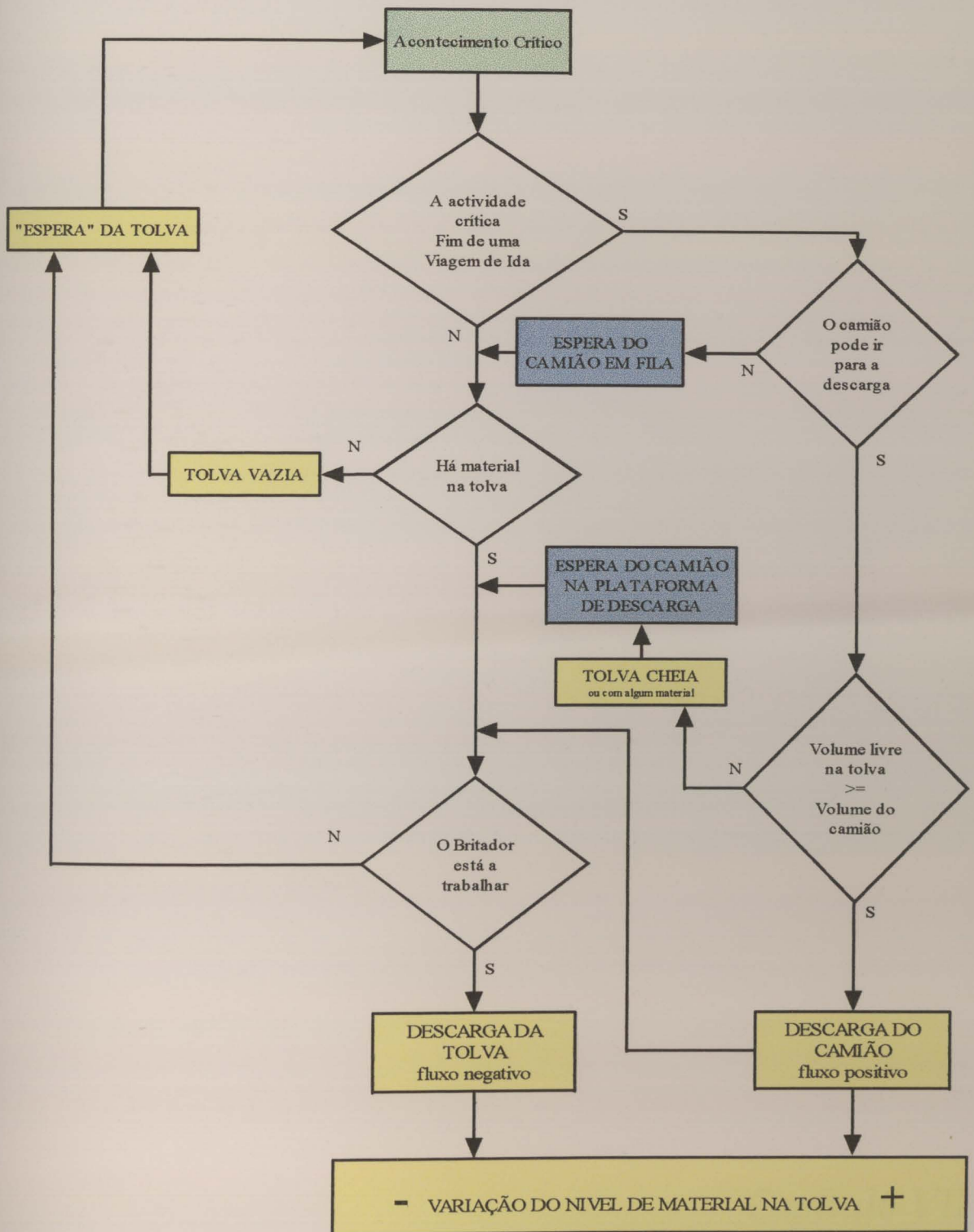


Fig. VI - 3

Capítulo VII
O ambiente do objecto. A definição possível.

*“O todo sem a parte não é todo,
a parte sem o todo não é parte.
Mas se a parte o faz todo, sendo parte,
não se diga que é parte, sendo todo.”*
(Gregório de Matos – sec. XVII)

O ambiente

“Tudo aquilo que não é explicitamente incorporado na descrição do objecto, mas que concebivelmente condiciona ou determina o seu comportamento, constitui o seu ambiente.”
(Madureira et al., 1992).

Definido e delimitado que foi o *objecto*, caracterizadas as componentes e pormenorizadas as interferências, há que minimamente identificar as influências externas que podem afectar o desempenho do *objecto* quer intencionalmente quer por motivos estranhos e fortuitos.

Esta tentativa de identificação tornou-se, para nós, um interessante exercício dado que um grande número de atributos do sistema que nos pareciam exteriores e que condicionavam o comportamento deste, ao serem interpretados e estudados verificou-se que já estavam, de alguma forma, incorporados na análise dos componentes do *objecto*. Outros não.

Analiseemos alguns desses interessantes atributos.

Características geológicas do jazigo

As características dos maciços rochosos, os seus graus de fracturação e de alteração, condicionam de alguma maneira o resultado do desmonte praticado. De uma forma resumida, podemos afirmar que, se o desmonte for implementado através do uso de explosivos, o resultado final que se vai traduzir no grau de fragmentação da rocha desmontada, é função do diagrama de fogo usado e da interacção deste com as características geológicas do maciço. Ora este resultado final está incorporado directamente no nosso *objecto* quando contabilizamos o tempo de arrumação e o tempo de carregamento de camiões. O grau de fragmentação e a dispersão do material

desmontado estão intrinsecamente ligado àqueles tempos, na medida em que condicionam os valores por eles assumidos. Se a fragmentação for insuficiente, por exemplo, resultante da existência de fracturas no maciço que reduzem a eficácia das pegas de fogo ou mesmo por deficiente dimensionamento destas, os grandes blocos produzidos obrigam a uma movimentação de arrumação exagerada. Se o grau de fragmentação for repuxado, para além de poder corresponder a um uso exagerado de explosivos, vai com certeza implicar um tempo de carga dos camiões no qual está contabilizado o tempo de carregamento dos baldes das pás-carregadoras que dependerá fortemente desse grau de fragmentação. O aparecimento de diferentes litologias pode obrigar a tempos de arrumação correspondentes a uma operação de separação eventualmente necessária para não enviar material impróprio à instalação de fragmentação e classificação.

Eventualmente, poderá ter interesse modelar em maior pormenor este tipo de situações, fazendo o tempo de carga depender explicitamente de parâmetros (fixados deterministicamente ou gerados aleatoriamente) representativos do estado de fragmentação e/ou da litologia presente.

Condições meteorológicas

Já foi aflorada a ideia de que as condições atmosféricas influenciam fortemente o desempenho das máquinas usadas nas explorações a céu aberto. A diminuição da aderência das máquinas munidas de pneus ao piso de circulação é um dos primeiros factores a considerar quando há chuva intensa nas explorações. O grau de visibilidade, dependente da atmosfera da exploração, condiciona o comportamento dos operadores das unidades de carga e transporte. A falta de visibilidade, durante a viagem de regresso, pode impedir um condutor de realizar uma paragem momentânea para permitir a passagem de um camião carregado que executa o percurso nesse tramo da pista em que só circula uma unidade de transporte de cada vez (este tipo de paragem é uma prática corrente nas unidades industriais). Ora, esses atributos dependentes das condições atmosféricas, estão também eles adstritos aos tempos de actividade das unidades. A caracterização de uma actividade através de histogramas de classes de tempos, com determinada média e desvio padrão corresponderá a uma situação de operação em determinadas condições sempre particulares. Este facto realça a necessidade de se proceder à colheita de informação relativa a esses tempos em diferentes cenários correspondentes a condições diferentes, nomeadamente em ambientes com

condições atmosféricas adversas. Assim, as condições atmosféricas, que numa primeira análise parecem um atributo do ambiente do *objecto* passam, por meio daqueles tempos, a ser consideradas como atributos medidos e quantificados desse mesmo *objecto*.

Estado de conservação do parque de máquinas e capacidade de manutenção

Uma unidade industrial, para que possa responder tecnicamente a situações de avaria ou de desgaste do seu parque de máquinas em actividade, deverá possuir unidades de reserva e capacidade técnica de reparação e manutenção preventiva que permita minimizar alterações súbitas e imprevisíveis a um dado esquema de remoção do material desmontado. A não existência de unidades de carga e transporte de reserva e daquelas capacidades técnicas pode perturbar drasticamente a produtividade da exploração, efeito que pode ocorrer esporadicamente ou acontecer de forma gradual ao longo de um período de tempo.

Estes dois tipos de factores podem ser considerados de forma distinta. O grau de desgaste das unidades de carga e transporte e a sua consequente progressiva baixa de produtividade, podem, caso se sistematizem rotinas de recolha de informação, estar contempladas e previstas na própria dinâmica do *objecto*. Os tempos de actividade necessariamente aumentarão continuamente com a progressiva incapacidade de realização dessa actividade por parte das máquinas. Essa informação ficará patente na evolução do histograma de actividades com o tempo. Será um atributo do *objecto*.

Quanto à capacidade de resposta da empresa para obviar a esse desgaste, nomeadamente com uma manutenção ou substituição preventivas ou mesmo (sobre o acontecimento consumado de grande avaria) promovendo a troca integral de uma máquina, pode ser considerado como um factor que não está incorporado no *objecto* mas que irá condicionar o seu comportamento no futuro próximo.

Mercado

O mercado que absorve a produção de uma unidade industrial de exploração e transformação de rocha (neste caso para britas e balastro) é um vector externo que quantifica a

utilidade social dos produtos finais realizados. Este mercado é temporalmente evolutivo relacionando-se fortemente com a actividade de construção civil e obras públicas.

Pelo facto da existência de uma instalação de fragmentação e classificação de produtos, esta pode, só por si, responder a algumas flutuações do mercado (no tipo de produtos finais), produzindo mais de certos produtos e menos de outros. Desta forma, torna-se possível manter determinados níveis de produção final, não sendo necessário alterar as estratégias de exploração e transporte que estão a montante daquela instalação.

Naturalmente, para que determinada produção seja alcançada com vista a responder a uma necessidade do mercado, há que poder actuar sobre todos os elos da cadeia produtiva (ou, pelo menos em alguns deles) no sentido de se atingir o efeito final desejado. A flexibilidade de um empreendimento mineiro medirá a capacidade de resposta às flutuações do mercado.

No presente caso, o modelo que tentamos construir do *objecto* definido, pretende averiguar a quantificação da produção realizável à boca do britador primário por determinadas configurações que constituem as componentes do *objecto* em estudo. Perante uma nova solicitação do mercado, o objectivo consistirá em saber como actuar no *objecto* para que não se perca o mercado com que a empresa lida ou mesmo angariar novos potenciais clientes. Como tal, o mercado pode considerar-se como pertença do ambiente enquanto existir flexibilidade na unidade industrial para reagir às suas flutuações.

Em situações limite do mercado, por um aumento ou diminuição extremas da procura ou por exaustão do recurso mineral, a unidade Industrial pode ver fortemente coarctadas ou totalmente limitada a sua flexibilidade e aí sim, o mercado (ou o recurso) passa a pertencer ao domínio do *objecto*, sendo um parâmetro a ter em conta num processo que pretenda promover a re-viabilização (se ela existir) do empreendimento.

Numa situação e na outra, o conhecimento possível da história e da tendência do mercado devem ser tarefas permanentes a ter em consideração para se delinear possíveis actuações em antecipação aos acontecimentos desse mesmo mercado. Os dados recolhidos possibilitarão construir uma modelação do mercado, modelação essa que a ser incorporada no modelo, fará do mercado um factor interno do sistema conceptualizado.

Outros factores como por exemplo o capital / situação financeira da empresa, capacidade técnica e competência organizativa existentes e grau de formação do pessoal operador.

Estes factores constituem inerências específicas do empreendedor e, de alguma forma, estarão repercutidos na forma de actividade de todos os elos da cadeia produtiva. Muitas vezes é-lhes imputável a responsabilidade pelo êxito ou fracasso de um empreendimento. Como o projecto de exploração de uma pedreira engloba uma grande quantidade (se não a totalidade) de operações elementares que se desenvolvem em regime batch, a articulação entre essas operações é o principal problema do empreendimento. A estrutura de funcionamento tem que ter em conta as interações de competitividade e cooperação para que esta não resulte caótica, mas conserve a flexibilidade compatível com a motivação dos operadores humanos forçosamente (ainda) presentes. Portanto, será do modo organizativo do empreendimento que resultará um melhor ou pior desempenho do sistema na sua globalidade. Esse carácter organizativo, para além dos meios financeiros necessários para a pretendida flexibilidade de resposta às solicitações do mercado, exige a presença de todo um corpo técnico e operário especializado, motivado e empenhado. Será da sua qualidade que dependerá a qualidade das respostas às questões de optimização que também ele formulará. Assim, para cada *objecto* que se considere em estudo, estes factores são aproximadamente fixos, certamente influentes, mas pertencentes ao ambiente desse *objecto*. Dissemos aproximadamente fixos pois, como é evidente, evoluem também eles com os sucessivos envolvimento nas tentativas de optimização do empreendimento.

Efeitos negativos com rectroacção

São cada vez mais frequentes as interferências da opinião pública (esporádica ou organizada) no processo produtivo das unidades de exploração e transformação de rocha. Estas ocorrem quase sempre quando não existe uma transparente e correcta actuação técnica na esfera da gestão da exploração dos recursos. São frequentes as queixas por contaminação de aquíferos, cavidades abandonadas e desprotegidas, ruídos e vibrações provocados pelas pegadas de fogo, bem como a disseminação de pó na atmosfera circundante das instalações.

Nenhum processo de desenvolvimento tecnológico ou de melhoria das condições de vida das populações tem decorrido sem o recurso a matérias primas que, ao serem exploradas, forçosamente deixam marcas no meio ambiente natural de onde se retiram. A indústria mineira carrega do seu passado todo o peso de uma conduta de luta humana frente à natureza que quase sempre termina de forma inglória restando o desemprego, os buracos, as ruínas e as contaminações.

Hoje assiste-se a uma tomada de consciência da importância de obviar ao efeitos nocivos da actividade extractiva e transformadora. A legislação começa a ser cumprida e mesmo a ser condicionadora do tipo de soluções técnicas implementáveis, visando impedir determinadas condutas perniciosas para o homem, para o meio ambiente bem como para a racional recuperação dos recursos naturais. A capacidade de perspectivar o encerramento de unidades industriais é maior agora que no passado e mesmo conhecida por parte de todos os intervenientes no processo produtivo, o que possibilita e obriga a um esforço em antecipação de reconversão das actividades, dos espaços e de acautelamento dos efeitos dos sub-productos depositados.

As reacções dos cidadãos nestes processos, a par da legislação vigente, têm forçosamente que ser encaradas como factores influentes nas estratégias de exploração dos recursos. Como tal, devemos considera-los como fazendo parte do ambiente do *objecto*.

A decisão de incorporar factores no ambiente ou no *objecto*

A decisão de incorporação dos factores do ambiente no sistema, tornando-os parte integrante do *objecto*, estará primeiramente ligada aos objectivos (problema(s)) do projecto de investigação. Uma segunda razão para a decisão de os incorporar estará relacionada com a quantidade e qualidade da informação disponível. É frequente ler-se nos escritos sobre modelagem que o princípio geral é o de que "*o modelo deve ser apenas tão detalhado quanto exijam os objectivos do projecto e o permitam os dados*" (Madureira et al., 1992).

Para se considerar todos os factores enunciados, exige-se uma madura reflexão sobre a forma de os quantificar para que sejam incorporados no modelo construído ou a construir. O seu grau de variabilidade poderá ser determinante quer na decisão de o incorporar no sistema, quer na forma como o incorporar.

Como tivemos oportunidade de expor no Capítulo IV, a sede do Problema Primário está definida no *objecto* com limites por nós claramente impostos. Posto a base de análise que pretendemos implementar estar referida à unidade de tempo – relevo (7 horas) - muitos dos factores que agora acabamos de enunciar, ou já estão incorporados (mesmo que indirectamente) nas componentes do sistema em construção ou, à escala daquela unidade temporal elementar de colheita de resultados, não são significativos. Por outras palavras, durante um dia de actividade de uma pedreira, podemos considerar que o mercado está estabilizado, que a capacidade técnica e organizativa está definida e inalterada etc. etc.

Para terminar estas breves palavras sobre o ambiente do *objecto*, referiremos só mais um factor que poderá ser elucidativo sobre este tipo de opções tomadas no nosso estudo.

As simulações de sequências de relevos, realizadas sempre nas mesmas circunstâncias, eliminam logo à partida um fenómeno real e conhecido, mesmo quantificável, e que deliberadamente excluímos da construção do nosso modelo. Trata-se do recuo da frente de desmonte sempre que se realiza uma pega de fogo. Este recuo repercute-se imediatamente num aumento dos tempos de actividade dos camiões nas viagens de ida e regresso, aumentando-as ou diminuindo-as (dependendo da geometria dos desmontes e das pistas de circulação).

Como partimos do pressuposto de que existia sempre material desmontado e por ser a pilha desse mesmo material (pré-stock) um dos limites adoptados para o *objecto* e ainda porque estamos interessados em averiguar o comportamento do sistema em regime estacionário (estabilizado), aquele factor não foi por nós tido em consideração.

Encadeamos sequências de relevos, admitindo sempre os mesmos parâmetros de partida.

Porém, se o objectivo se centrasse na influencia do referido recuo na produção de uma dada frota, a estratégia adoptada seria diferente e forçosamente teria de ter em consideração uma forma de modelação desse recuo bem como o estabelecimento de uma forma de dependência de outros parâmetros das várias componentes do sistema em relação a esse mesmo recuo.

Podemos aqui realçar o facto de esse factor (o recuo das frentes) ser ponto central na metodologia de simulação implementada pela colega Manuel Nascimento da UTAD, dado constituir para ela um dos objectivos centrais do estudo em que está empenhada a análise de séries temporais resultantes da actividade extractiva em pedreiras.

Capítulo VIII
O Modelo

*“Existem nos dias milhões de acontecimentos subtis, encobertos,
incompreensíveis. Reais ou não? Pouco importa.
O Real pode transformar-se em ficção e vice-versa.
E por que não aceitar a ficção como sendo a convergência da realidade com a
fantasia?
E por que não encarar a fantasia como a sùmula de toda a realidade?
E, se as emoções nos pertencem, os lugares – for a de nós – existem como obra
nossa porque os construímos. Nosso horizonte e nossos limites, os lugares
incitam à descoberta – olhar ou luz a impressionar a película das novas magias.
Com elas reinventamos imagens que a câmara fotográfica adapta à realidade –
ou será o contrário?”*
(Pacheco, H., 1990)

O Modelo

Tendo estruturado uma dada conceptualização do *objecto*, o que se traduz no facto de termos identificado um sistema associado a esse *objecto*, podemos agora encetar a tarefa de elaborar um modelo desse *objecto*, não esquecendo nunca que será apenas um modelo de entre os muitos que se poderiam construir para simular a realidade de que partimos.

Modelar é criar, de uma maneira artificiosa, uma forma de imitar um conjunto de acontecimentos equivalentes aos que se podem observar na entidade original.

Porque o modelo nada mais fará do que aquilo que nós implementarmos na sua estrutura, ele será fortemente dependente da capacidade de análise que antecede a sua construção.

A Linguagem suporte da modelagem

Um primeiro dado a reter a propósito da fase de construção do modelo tem a ver com o suporte (linguagem) que presidirá a essa construção.

Existem linguagens especificamente concebidas para permitir de modo económico a implementação de modelos (baseados na simulação de Monte Carlo), que fornecem ao utilizador “... *um conjunto padronizado de conceitos de modelagem, um conjunto de técnicas estatísticas para obtenção do controlo e análise de resultados, um conjunto de utilitários embutidos para processamento de listas que tomam conta da sucessão de ocorrências durante a simulação, bem como um código fonte intrinsecamente eficiente e processadores/interpretadores compiladores altamente optimizadores ...*” (Madureira, 1983). Como exemplo de uma destas linguagens, citamos a linguagem SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling) que permite a combinação da modelagem de fenómenos contínuos, característicos das actividades do processamento de minérios, com a modelagem discreta (descontínua) como a de que nos estamos a ocupar. Nesta linguagem, a modelação inicia-se com a construção de um diagrama gráfico do sistema a simular. O diagrama é construído com a combinação de símbolos “standard”, chamados nós e ramos, numa rede que representa o fluxo das entidades através do respectivo sistema. Um nó pode corresponder à criação de uma entidade ou de uma fila, enquanto que um ramo pode corresponder a uma actividade de uma entidade. Existem versões desta linguagem que possibilitam uma animação gráfica amigável e que possuem, integradas, bases de dados de entrada e de resultados controladas por módulos de testes estatísticos.

Há, no entanto, algumas limitações nas linguagens de simulação que, para nós, devem ser tidas em conta: a imposição ao utilizador de certas limitações conceptuais e metodológicas à sua liberdade de criação de modelos, correspondendo a especificidade de cada linguagem, em geral, ao facto de ter sido propositadamente criada para resolver um tipo particularizado de problemas de uma área da indústria; e o uso de técnicas estatísticas e de geração de aleatórios em regime de caixa negra, facto que pode limitar e condicionar os procedimentos e análises simulados.

A nossa prática, até ao momento, com este tipo de linguagem tem sido nula, o que naturalmente também determinou a opção pela sua não utilização.

A tradição no DEP. MINAS - FEUP, na qual nos sentimos integrados, sempre nos apontou como um caminho frutuoso a construção de modelos recorrendo a linguagens genéricas de programação. Desde os primeiros anos da Licenciatura que fomos habituados a programar pelas nossas próprias mãos. A capacidade de uso de uma ou várias linguagens de programação depois de uma prática de construção de algoritmos oferece-nos uma grande confiança na resolução dos

problemas com que deparamos. A versatilidade de algumas dessas linguagens é tal que nos tem permitido elaborar algoritmos com alguma complexidade, sem perder o controlo da programação numa liberdade de modelagem. A possibilidade de, em qualquer momento, acrescentar ou retirar tarefas ao modelo, a facilidade de construção e teste de rotinas destinadas a simular componentes ou gerar tempos de actividade diversos, são outras das vantagens do uso de uma linguagem genérica. Dado em Provas anteriores termos já optado pelo uso da programação em Pascal, foi por recurso a essa mesma linguagem e por retoma de algoritmos já construídos que procedemos a melhoramentos que nos conduziram ao modelo que vamos a passar a referir.

Modelagem Estrutural

Começamos pelo estágio de modelagem estrutural do sistema encontrado.

A construção de um programa para ser usado em computador passa por diversas fases. É comum começar-se por um processo de algoritmia materializado no desenho de um fluxograma que esquematizará a sequência de acontecimentos a serem processados pelo computador. Este primeiro passo ajuda a manter uma certa disciplina no processo de programação, disciplina essa a que muitas vezes somos tentados a fugir, complicando futuras alterações e melhoramentos do modelo. Como simples exemplo, apresentamos na figura VIII – 1, um fluxograma, construído ainda quando éramos alunos, onde se observa um ciclo de cálculo do tempo médio de actividade cíclica de ND camiões (TMC[I]), se “coloca” cada um dos ND camiões numa fila de atendimento das Pás (FP[I]), se atribui o valor -1 a cada uma das NP pás (sinal de que iniciam a tarefa de arrumação) bem como lhes é atribuído um tempo (por geração aleatória) para a tarefa de arrumação (TA[I]).

A arquitectura modular, em blocos mais ou menos autónomos, permite uma visualização clara e rápida do encadeamento de acontecimentos programados assumindo,

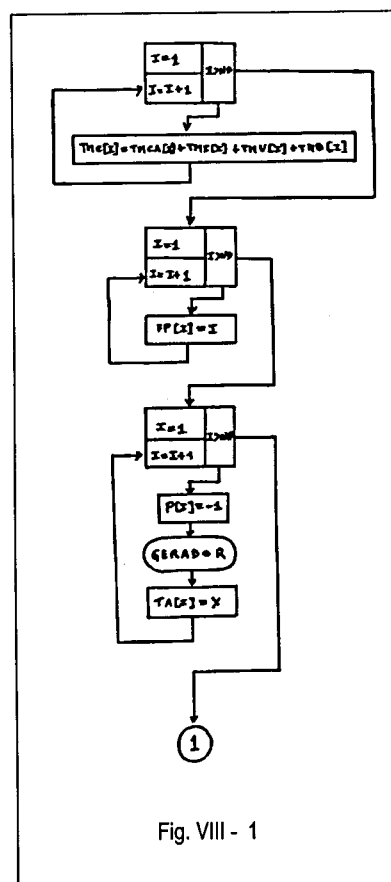


Fig. VIII - 1

como tal, um certo valor didático no momento de exposição da filosofia do modelo. Uma outra vantagem da arquitectura modular prende-se com a facilidade de melhoramentos no modelo por acrescento de mais módulos consentindo um aumento da complexidade sem perda do controlo. Este método permite ainda o uso de rotinas construídas exteriormente que se acoplarão após diligências de compatibilização. Esta última prática foi por nós adoptada aquando da construção de um módulo de geração de valores aleatórios segundo a Lei Gama como ferramenta do estágio de modelagem paramétrica.

No presente caso, resolvemos endereçar todo o conjunto de dados, resultados intermédios e finais a siglas de uma ou mais letras, eventualmente com índices a elas associadas, para com maior facilidade construir o modelo. A seu tempo iremos explicitando cada uma dessas siglas, atribuindo-lhes o respectivo significado.

O modelo implementado comporta a existência de uma pedra, possuindo uma frente de desmonte situada a uma certa distância de uma tolva de regularização da alimentação a um britador primário.

```

9  VAR

20  A,AA,AE,AI,AT,AV,AD,AC,BA,BB,BRITADOR:INTEGER;
21  NUMTOLVA:INTEGER;
22  tolva:integer;
23  DESC,I,III,H,HH,HHH,ZI,ZK,ZZI,K,IA,IC,II,IV,ND,NP:INTEGER;
24  INDREL,INDIGER,N_T_ENCRAV,CONTVERDAD,NPEQINT:INTEGER;
25  VALORGERADO,CST,CIT,CT,TR,TTB,MT,TEB,ME,VDB:DOUBLE;
26  INDCST:DOUBLE;
27  DCTV,DT,TEREF,TFR,X,XX,XXX,T,S,PSANA,CTANA,CTANT:DOUBLE;
28  PRODIA,STETSC,STPA,STFP,STFB,STTB,STEB,STECS,TTESPERA:DOUBLE;
29  TMMP,CMP:DOUBLE;
30  REF:CHAR;
31  STSC,SFP,SPA,SFB,SPR:DOUBLE;
32  S2TSC,S2FP,S2PA,S2FB,S2PR:DOUBLE;
33  SMTETSC,SMEDFP,SMEDPA,SMEDFB,SMEDPR:DOUBLE;
34  MEDTSC,MEDFP,MEDPA,MEDFB,MEDPR:DOUBLE;
35  MTSC,MFP,MPA,MFB,MPR:DOUBLE;
36  M2SC,M2FP,M2PA,M2FB,M2PR:DOUBLE;
37  DP_TSC,DP_FP,DP_PA,DP_FB,DP_CS,DP_DE,DP_PR:DOUBLE;
38  PSCL,INDC:DOUBLE;

```

Fig. VIII - 2

O número de pás-carregadoras e de camiões, respectivamente endereçados às variáveis NP e ND, são dados de arranque de uma simulação.

Posfácio – 12, 70, 76

Não existe qualquer restrição a estas quantidades, sendo no entanto de supor que NP nunca deverá, em termos técnicos, ser superior a ND. Porém, como veremos, em algumas situações optamos por proceder a simulações infringindo essa regra com vista a testar o comportamento do modelo mesmo em situações não usuais. Esta é uma vantagem do modelo; podemos experimentar configurações

conforme nos convém sem restrições de qualquer tipo, sendo a única regra a presença de algum bom senso ou de alguma intenção gnoseologicamente relevante.

Cada pá-carregadora, que opera junto da frente de desmonte e cuja tarefa é carregar o material desmontado para os camiões, apresenta três estados de actividade possíveis, respectivamente, arrumação, paragem e carga. Como já vimos anteriormente, o estado de paragem pode, em diversos momentos, não ocorrer em virtude de, imediatamente a seguir a momentos de arrumação, existirem em fila de espera camiões para serem carregados.

Posfácio – 58, 69, 75

Para modelar a identificação das NP pás-carregadoras em presença numa simulação, adoptamos a criação de variáveis P(i) onde i representa o índice correspondente ao número da respectiva pá-carregadora. Assim sendo, i pode variar desde 1 a NP.

As três actividades possíveis que podem ser atribuídas às pás-carregadoras ficam identificadas de acordo com o valor que as variáveis P(i) possuírem, de acordo com a seguinte definição:

- P(i) = -1 pá i em arrumação
- P(i) = 0 pá i parada
- P(i) = x pá i a carregar o camião nº x

A cada pá-carregadora deve atribuir-se a capacidade do respectivo balde ou caçamba, sendo de admitir os valores apresentados em catálogos dos diferentes fabricantes deste tipo de máquina. Introduzimos a sigla CP(i) para esta propriedade de cada pá i. O tempo médio de ciclo mínimo de actividades elementares (que é repetido n vezes, de acordo com a relação entre a capacidade do balde da pá-carregadora e a

```
710 FOR I:=1 TO NP DO
711 BEGIN
712 READLN(FILAIN,CP(I)); {capacidade da pá}
713 CMP:= CMP + CP(I);
714 READLN(FILAIN,TMA(I));
715 READLN(FILAIN,DPA(I));
716 READLN(FILAIN,TMUPA(I)); {tempo médio unitário manobra da pá}
717 TMUPA(I):= TMUPA(I);
718 TMMP:= TMMP + TMUPA(I);
719 READLN(FILAIN,DPUA(I)); {DP de tempo médio unitário manobra da pá}
720 DPUA(I):= DPUA(I);
721 END;
```

Fia. VIII - 3

capacidade da caixa do camião que vai carregar), ficará indexado à sigla TPA(i). Como se torna necessário, para simular o tempo desta tarefa recorrendo a uma geração aleatória, um valor equivalente à dispersão destes tempo em torno da respectiva média, optou-se por referi-la na sigla DPUPA(i). Nesta sigla indexada figurarão os desvios-padrão dos respectivos tempos médios de ciclo mínimo de actividades elementares.

Posfácio – 67

O tempo de carga de um camião será, pois, função das capacidades do balde da pá e da caixa do camião. Este tempo, calculado e atribuído à pá-carregadora em virtude de ser a pá que está em actividade durante a carga, ficará armazenado na variável TC(i).

Como vai sempre ocorrer uma tarefa de arrumação imediatamente a seguir a uma carga, as siglas TMA(i) e DPA(i) representarão respectivamente o tempo médio de arrumação e o respectivo desvio padrão indexados a cada pá.

Posfácio – 58

Com vista a transportar o material desmontado na frente da pedreira para a instalação de transformação, cada camião realiza um ciclo de movimentos que, como vimos, podem ser descritos na seguinte sequência: carga, viagem de ida, descarga e regresso.

Os ND camiões terão, necessariamente, uma capacidade que é uma propriedade de cada um e passível de ser diferente de um para outro. Esta propriedade será armazenada numa sigla que convencionamos chamar CD(i), sendo i o nº do camião respectivo.

Posfácio – 78 a 83

A cada camião deve ser atribuído um tempo médio de tarefa e respectivo desvio padrão, de acordo com as seguintes definições:

- TMI(i) = tempo médio de viagem de ida do camião i
- DPI(i) = desvio padrão do tempo médio de ida do camião i
- TMD(i) = tempo médio de descarga do camião i
- DPD(i) = desvio padrão do tempo médio de descarga do camião i
- TMV(i) = tempo médio de viagem de regresso do camião i
- DPV(i) = desvio padrão do tempo médio de regresso do camião i

Um camião, depois de carregado, inicia a viagem de ida para a zona da tolva, sendo para o efeito (e isto deve ser entendido como opção estratégica do modelo do tipo incidente crítico) colocado

```

724   FOR I: - 1 TO ND DO
725   BEGIN
726       READLN(FILAIN,CD(I));
727       READLN(FILAIN,TMI(I));
728       TMI(I): - TMI(I);
729       READLN(FILAIN,DPI(I));
730       DPI(I): - DPI(I);
731       READLN(FILAIN,TMV(I));
732       TMV(I): - TMV(I);
733       READLN(FILAIN,DPV(I));
734       DPV(I): - DPV(I);
735       READLN(FILAIN,TMD(I));
736       TMD(I): - TMD(I);
737       READLN(FILAIN,DPD(I));
738       DPD(I): - DPD(I);
739   END;
```

Fig. VIII - 4

numa fila de bandeiras de referência com siglas BV(i). Esta fila, bem como todas a que referiremos mais adiante, possui um número fixo de posições e equivalente ao número de camiões ND que cada simulação comportará. O lugar assumido nesta fila é função do tempo de viagem gerado para cada camião relativamente ao momento de inserção do camião na fila. Por outras palavras, o troço de viagem de ida é comum a todos os camiões e estes podem realizar ultrapassagens, sendo o camião portador da bandeira nº 1, dentre todos os que se encontram em determinado momento na fila, o primeiro a chegar à tolva.

```
1426 {Coloca camião na fila de ida (local certo)}
1427
1428     ZK: = ZK + 1;
1429     ZI: = BV(I);
1430     BV(I): = P(IC);
1431     FOR H: = I + 1 TO ND DO
1432     BEGIN
1433         ZZI: = BV(H);
1434         BV(H): = ZI;
1435         ZI: = ZZI;
1436     END;
1437     END;
1438     BEGIN
1439         IF (H=0) OR (ZK=0) THEN
1440         BEGIN
1441             BV(I): = P(IC)
1442         END;
1443     END;
```

Fig. VIII - 5

Como índices adoptamos:

- BV(i) = 0 nenhum camião em viagem de ida na posição i
- BV(i) = x o camião x em viagem de ida e na posição i

Como exemplo de uma fila de viagem de ida, podemos representar a seguinte:

Fila de Viagem de Ida					
BV(6)=0	BV(5)=0	BV(4)=0	BV(3)=0	BV(2)=3	BV(1)=1

Fig. VIII - 6

Dela se pode concluir que há seis camiões a prestar serviço nesta simulação e que os camiões nº 1 e nº 3 estão na viagem de ida. O camião nº 1 vai chegar à tolva primeiro que o camião nº 3.

Quando o primeiro camião da fila de viagem de ida terminar a sua viagem, é enviado imediatamente para a tarefa de descarga, caso se verifiquem três condições:

1. a tolva admita a quantidade de material correspondente à capacidade da caixa do camião em questão
2. não se encontre nenhum camião a descarregar
3. não exista nenhum camião em fila de espera para a descarga na tolva

Postácio – 104, 105, 112, 114

ou então é inserido na fila de espera para descarga na tolva, construída com base nas siglas FB(i).

Seguindo a mesma metodologia, de acordo com estas siglas:

FB(i) = 0 nenhum camião em espera para descarregar na posição i

FB(i) = x o camião x em espera para descarregar e na posição i

Nesta fila não são admitidas ultrapassagens, podendo caracterizar-se como sendo do tipo FIFO.

Quando se reúnem as condições para a descarga, o camião da fila de espera em primeira posição avança em direcção à plataforma de descarga, para iniciar essa mesma tarefa. A variável BB, indicadora do estado desta plataforma, assume o valor x quando nela se encontra o camião nº x a proceder à tarefa de descarregar. Caso não esteja nenhum camião a descarregar, a BB será atribuído o valor 0.

Postácio – 118 a 130

Vejamos um exemplo possível numa situação de simulação

```

1474 BEGIN
1475 BB:=BV[1];
1476 INDIGER:=-4;
1477 X:=gergama(INDIGER,BB);
1478 TD(BB):=-X;
1479 BV[1]:=-0;
1480 END;
```

Fig. VIII - 7

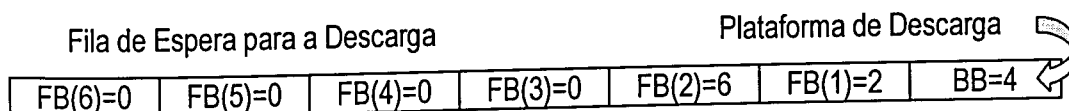


Fig. VIII - 8

Podemos concluir que há dois camiões inactivos à espera para descarregarem o material que transportam, respectivamente o nº 2 e o nº 6, em virtude de o camião nº 4 estar a executar a sua tarefa de descarga. Mal o camião nº 4 termine a descarga será o camião nº 2 que avançará para a plataforma de descarga.

Postácio – 110, 111, 116

Finda a descarga, e depois de ser adicionado à variável CT (nível instantâneo de material da tolva) uma quantidade correspondente ao volume de material

1505 CT: -CT + CD(BB); {0 camião descarrega}

Fig. VIII - 9

descarregado, o respectivo camião inicia a viagem de regresso, sendo por isso mesmo introduzido numa fila de regresso com siglas portadoras de bandeiras de referência BR(i). A estratégia seguida é idêntica à que assumimos na fila de viagem de ida:

BR(i) = 0 nenhum camião em viagem de regresso na posição i
BR(i) = x o camião x em viagem de regresso e na posição i

Terminada a viagem de regresso, o camião em análise assume uma posição na fila de espera para ser carregado (situação que como vimos anteriormente é passível de ocorrer) o que se verifica sempre que:

1. já há lugares desta fila ocupados por outros camiões;
2. não há lugares da fila ocupados por outros camiões, mas também não há qualquer pá disponível para iniciar a tarefa de carga.

Nesta fila, as siglas têm o seguinte significado:

FP(i) = 0 nenhum camião em espera para ser carregado na posição i
FP(i) = x o camião x em espera para ser carregado e na posição i

Alternativamente à situação anterior o camião é imediatamente destinado a uma pá-carregadora para ser carregado:

Vejamos mais um exemplo:

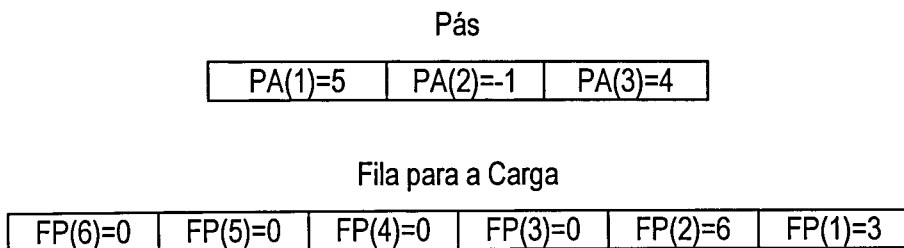


Fig. VIII - 10

As pás-carregadoras nº 1 e 3 estão a carregar respectivamente os camiões nº 5 e 4. A pá-carregadora que resta está a executar a tarefa de arrumação, pelo que não pode atender nenhum camião. Os camiões nº 3 e 6 aguardam a sua vez para serem carregados. Naturalmente, devido à filosofia FIFO, o camião nº 3 é o que vai ser primeiro carregado.

Uma situação a ter em conta e que obriga a que no modelo se opte por uma determinada disciplina é a que diz respeito à possibilidade de um camião chegar para ser carregado e nesse momento não existirem camiões em fila de espera e haver mais do que uma pá-carregadora em situação de inactividade (com as suas siglas PA(i)=0). Nesta circunstância, a disciplina adoptada no modelo obriga a destinar o camião à pá-carregadora que se encontra inactiva há mais tempo, tendo em vista que, desta forma, poder-se-á distribuir melhor os tempos de paragem por todas as pás-carregadoras (pelo menos em termos de probabilidade!). Esta opção é coerente com a opção FIFO.

Nesta metodologia de modelagem, todas as filas, quer de viagem quer de espera, são sempre ocupadas desde a primeira posição até à posição ND, não existindo nunca

```

1603 {Vê qual a pá com maior tempo de espera}
1604
1605 BEGIN
1606 IF P(K)=0 THEN
1607 BEGIN
1608 H:=H+1;
1609 IF H=1 THEN
1610 BEGIN
1611 Z(K):=TEP(K);
1612 ZI:=K;
1613 END
1614 ELSE
1615 BEGIN
1616 IF Z(ZI)<-TEP(K) THEN
1617 BEGIN
1618 Z(K):=TEP(K);
1619 ZI:=K;
1620 END;
1621 END;
1622 END;
1623 END;

```

Fig. VIII - 11

“buracos” no interior da fila. Por outras palavras, mal uma unidade transportadora abandona uma das filas (e é sempre a da frente da fila), todas as outras que se encontram em fila avançam um lugar.

Uma vez que o Problema Primário que nos serve de orientação se relaciona directamente com o dimensionamento da tolva, esta componente do sistema deve também ser modelada, tanto mais que, como vimos anteriormente, nela vão repercutir fenómenos que têm lugar a jusante.

A tolva, verdadeiro armazém onde o material terá algum tempo de residência, admitirá sempre um nível mínimo de capacidade diferente de zero.

Posfácio – 138, 141

Abaixo deste nunca pode ser levado o nível de material armazenado. Esta almofada efectuará uma protecção ao alimentador de arrasto que assegura a saída dos produtos em direcção ao britador. CIT será a sigla adoptada para esta quantidade. Para a tolva poder ser usada durante qualquer simulação, é necessário fixar uma capacidade máxima que, como veremos nas linhas referentes ao estágio de modelagem estratégica, será alterada de acordo com os objectivos que nos propusermos. Este nível máximo permitido para o material no interior da tolva será designado por CST.

No modelo decidimos que cada camião só descarregará se existir capacidade disponível suficiente para absorver a totalidade dos produtos que transporta.

Do lado inferior da tolva, e relacionado com o tipo de descarregador/alimentador usado e com o tipo de boca de descarga da tolva, temos que quantificar o fluxo de material (na nossa modelagem, fixo) que por unidade de tempo é evacuado sempre que o britador primário o permita. Este fluxo aparece como constante na sigla VDB. Vai ser esta quantidade, VDB, multiplicada pelos sucessivo valores dos intervalos de tempo de descarga que permitirá diminuir à quantidade de material no interior da tolva.

```

632      BEGIN
633      IF (BRITADOR = 1) AND (CT > CIT) THEN
634      BEGIN
635          DCTV := CT - (DT * VDB);
636          IF DCTV < CIT THEN
637              BEGIN
638                  PRODIA := PRODIA + (DT * VDB - (ABS(DCTV - CIT)));
639                  CT := CIT;          {O britador descarrega}
640              END
641          ELSE
642              BEGIN
643                  PRODIA := PRODIA + (DT * VDB);
644                  CT := DCTV;          {O britador descarrega}
645              END;
646          END;
647      END;

```

Fig. VIII - 12

Naturalmente que a tolva só efectuará descargas se o britador estiver em funcionamento, o que quer dizer que o descarregador/alimentador só funcionará naquelas circunstâncias.

Disciplina de arranque do relevo

Debrucemo-nos um pouco sob o modo de arranque de um relevo.

Nas pedreiras a céu aberto, um relevo inicia-se, em geral, depois de uma pega de fogo, encontrando-se a maior parte do material abatido nas frentes mais ou menos empilhado e uma parte remanescente algo dispersa por toda a praça. Neste cenário, as pás-carregadoras, chegadas a este local no início do turno têm, como primeira tarefa, realizar uma arrumação (recolecção do material espalhado) para preparar a praça para a actividade de remoção. Os camiões, entretanto, formam uma fila à espera que as pás-carregadoras se encontrem disponíveis para a tarefa de carga.

Posfácio – 28 a 58, 59

Assim, o arranque de um relevo, que no nosso modelo será de 7 horas (25200 segundos, informação armazenada em TFR), inicia-se pela atribuição do algarismo -1 às variáveis $P(i)$ de todas as NP pás. Ao mesmo tempo todos os ND lugares da fila de espera para a carga são preenchidos em sequência com dígitos correspondentes aos números dos camiões. Seguindo o mesmo tipo de representação atrás apresentados, vejamos o tipo de procedimento de arranque adoptado:

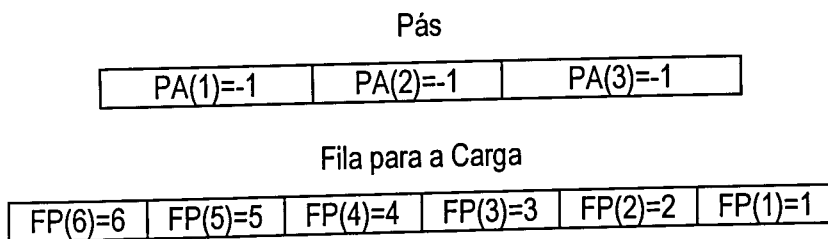


Fig. VIII - 13

Só depois desta atribuição é que o relógio geral, referenciado com a sigla TR, inicia uma contagem crescente desde zero até se atingir o fim do relevo, TFR. Adiante entraremos em pormenor sobre o modo como se processará esta contagem crescente. Desde já podemos referir que esta não será uma contagem por passos fixos mas sim com carácter variável e relacionados com eventos críticos correspondentes a tempos mínimos para a realização das diferentes tarefas que se desenvolvem no sistema.

```

816 {A tolva adquire a capacidade mínima}
817
818     CT:=-CIT;
819
820 {O relógio vai a zero}
821
822     TR:=-0; DT:=-0;
823
824 {Os camiões vão para a fila das pás}
825
826     FOR I:=- 1 TO ND DO
827         BEGIN
828             FPI(I):-I;
829         END;
830     END;

```

Fig. VIII - 14

```

834 BEGIN
835
836     {Gerar o primeiro tempo de trabalho do britador}
837
838     BRITADOR:=- 1;    {O britador adquire indice de trabalho}
839     X:=-gerweibull(1);
840     TTB:=-X;
841     STTB:=-STTB+TTB;
842
843 {Gerar os primeiros tempos de arrumação das pás}
844
845     FOR I:=- 1 TO NP DO
846         BEGIN
847             P(I):- -1;    {As pás adquirem indice de arrumação}
848             INDIGER:=- 1;
849             X:=-gergama(INDIGER,I);
850             TA(I):-X;
851         END;
852     END;

```

Fig. VIII - 15

Disciplina de fecho do relevo

Assim como definimos uma disciplina para o arranque das simulações, terá necessariamente de existir uma disciplina de fecho do relevo.

Um camião de transporte com um ciclo de tarefas como o definido possui um tempo médio de ciclo mínimo, se excluirmos as situações de inactividade passadas em filas de espera. Este tempo médio pode ser considerado como o somatório dos tempos médios:

$$TMC(i) = TMCA(i) + TMI(i) + TMD(i) + TMV(i)$$

em que TMCA(i) representa o tempo médio de carga, TMI(i) o tempo médio de viagem em direcção à tolva, TMD(i) o tempo médio de descarga na tolva e TMV(i) o tempo médio de regresso à frente de desmonte.

```

879     TMC(I):=-TMCA(I)+TMI(I)+TMV(I)+TMD(I); {Tempo médio de ciclo de cada camião}

```

Fig. VIII - 16

No modelo que agora estamos a descrever, quando um camião realiza uma descarga na tolva executa-se uma comparação entre o valor do tempo médio de ciclo mínimo do camião $TMC(i)$ e o tempo que ainda falta para terminar o relevo ($TFR - TR$). Se esta comparação indicar que o camião, em termos médios, ainda tem tempo para realizar mais uma viagem, ele ingressa na viagem de regresso. Caso contrário abandona a actividade.

1497	{Verificação se o camião pode fazer nova volta}
1498	
1499	TEREF: $-TMC(BB) + TR$;
1500	IF TERE $< -TFR$ THEN

Fig. VIII - 17

Modo de evolução do algoritmo

Ainda no estágio de modelagem estrutural, pode colocar-se a questão fundamental de decidir o modo como o modelo vai evoluir no tempo. Trata-se de promover uma evolução no modelo que seja coerente com a dinâmica existente na pedreira.

É costume apontarem-se duas técnicas mais ou menos consagradas para implementar o desenvolvimento cronológico de uma simulação (Miranda, 1986):

- *"Time-slicing" ou repartição do tempo em intervalos iguais, procedimento que consiste em fazer evoluir o sistema por passos idênticos;*
- *"Critical events sequencing": técnica cuja essência consiste em fazer avançar o sistema por tempos variáveis, correspondentes aos intervalos entre acontecimentos importantes.*

No primeiro método, perante um passo de evolução, o algoritmo obriga-se a efectuar um grande conjunto de análises, nomeadamente em todas as entidades intervenientes no modelo, e não a promover modificação alguma no estado de evolução da simulação, caso não se tenha atingido nenhuma situação crítica, ou então só promover algumas modificações em certas das entidades. Este método origina um número imenso e desnecessário de cálculos repetidos. Para além do grande consumo de tempo/máquina na realização de operações inúteis, surgiria o problema da determinação do passo a adoptar, uma vez que este teria que ser ajustado à escala temporal das mudanças de estado para que se garantisse que nenhum acontecimento crítico fosse ultrapassado sem ser identificado.

A segunda técnica consiste em determinar, de entre todas as tarefas em curso, aquela que vai terminar em primeiro lugar, (naturalmente é aquela a que falta menos tempo para findar), procedendo-se, em seguida, à subtracção desse tempo mínimo a todos os tempos de tarefa que estão a decorrer. Em consequência, a tarefa crítica consome-se pois o seu tempo passará a ser zero. Entretanto todas as outras tarefas passam a ter em falta um menor tempo de realização e uma nova tarefa crítica passará a ser definida.

É flagrante, neste método, o reduzido número de cálculos a efectuar, em comparação com o processo de evolução por passos regulares; em contrapartida, impõe uma necessidade acrescida de análise ao nível da programação, dado ser necessário prever as modificações globais, qualquer que seja a sequência de operações críticas durante um relevo. O método usado foi este último.

Esta técnica obriga, em todos os passos de evolução do algoritmo, a executar diferentes operações com todos os tempos de actividade envolvidos na simulação. Primeiro, torna-se necessário isolar, em cada conjunto de tempos de cada actividade, o correspondente à entidade que possui o menor intervalo para a finalizar. De entre todos os intervalos de tempo (mínimos) de actividade é preciso seleccionar o menor, o qual será o correspondente à tarefa crítica nesse instante. Detectada a tarefa crítica, ela finaliza-se, devendo-se, em seguida e em função deste acontecimento, analisar as alterações em todas as entidades e componentes do modelo.

1208 {DETERMINACAO MINIMO ABSOLUTO}

Fig. VIII - 19

1347 {TOMADA POSICOES FACE AO MINIMO}

Fig. VIII - 18

A título de exemplo, descrevamos as modificações ocorrentes no modelo quando um camião termina a descarga na tolva, ou seja, quando a descarga de um determinado camião foi constituir-se em tarefa crítica:

Naturalmente que as modificações se iniciam com a adição de uma certa quantidade de produto, correspondente à capacidade do camião, ao conteúdo da tolva.

Esse camião, depois de testada a condição de fim de relevo (em que o camião poderia ser retirado de circulação), como vai iniciar a sua viagem de regresso à frente de desmonte, necessita que lhe seja atribuído um tempo para essa actividade subsequente. Numa rotina de geração de tempos de forma aleatória (mas parametrizada por uma lei de probabilidade) é sorteado um tempo TB(i) de viagem de regresso para esse camião i. Depois desta atribuição, este camião passará a

fazer parte da fila de regresso BR(i) e numa posição determinada de acordo com as seguintes regras (tempos referidos a esse instante):

1. no início da fila de regresso, se não estiver nenhum camião nesse tipo de viagem ou se o seu tempo de regresso for o menor dos tempos de regresso de todos os utentes da fila
2. na cauda da fila, se o seu tempo de regresso for o maior de todos os tempos de regresso dos camiões que nesse instante se encontram na fila
3. entre dois camiões segundo a hierarquia de tempos em falta para terminar a viagem

Nos casos 1. e 3., é necessário fazer recuar de um lugar todos os utentes da fila que possuem tempos para finalizar a sua actividade superiores ao do camião agora nela introduzido.

Finalmente, há ainda necessidade de implementar mais algumas modificações no modelo em virtude de aquela actividade crítica ter finalizado: se existir um camião na primeira posição da fila de espera para a descarga e se, ao mesmo tempo, existir na tolva um volume livre suficiente para que esse camião descarregue a totalidade da sua carga, essa unidade avança até à plataforma de descarga sendo-lhe atribuído (por geração aleatória e segundo determinada lei) um tempo para executar essa tarefa.

```

1496 {O camião BB termina a descarga no tempo MD(BB)}
1497 {Verificação se o camião pode fazer nova volta}
1498
1499     TEREf:=TMC(BB)+TR;
1500     IF TEREf < -TFR THEN

```

Fig. VIII - 21

```

1521 {Coloca camião na fila de volta (local certo)}
1523     BEGIN
1524         ZK:=-ZK+1;
1525         ZI:=-BR(I);
1526         BR(I):=BB;
1527         FOR H:=-I+1 TO ND DO
1528             BEGIN
1529                 ZZI:=-BR(H);
1530                 BR(H):=-ZI;
1531                 ZI:=-ZZI;
1532             END;
1533         END;
1534         IF (H=0) OR (ZK=0) THEN
1535             BEGIN
1536                 BR(I):=BB
1537             END;

```

Fig. VIII - 20

```

1502 {Gera tempo de retorno}
1503
1504     BEGIN
1505         CT:=-CT+CD(BB); {O camião descarrega}
1506         DESC:=-DESC+1; {Indicador de nº de descargas}
1507         INDIGER:=-5;
1508         X:=gergama(INDIGER,BB);
1509         TB(BB):=X;
1510     BEGIN
1511         H:=-0;
1512         ZK:=-0;
1513         I:=-1;
1514         WHILE (BR(I) < > 0) AND (TB(BR(I)) < TB(BB))
1515             BEGIN
1516                 H:=-H+1;
1517                 I:=-I+1;
1518             END;
1519         IF (BR(I) < > 0) AND (TB(BR(I)) > -TB(BB)) TH

```

Fig. VIII - 22

Consequentemente, se existirem mais camiões na fila de espera para a descarga, estes avançam uma posição nessa fila.

Este conjunto de alterações, após uma actividade ser finalizada, em geral repercute e dissemina-se a montante e a jusante do ponto onde ela teve lugar.

Modelagem Paramétrica

A estrutura do modelo apresentado permite que, durante a fase de simulação, se opte por uma qualquer configuração de número de pás e camiões, de capacidades idênticas ou diferentes, com tempos de actividade particulares e relacionáveis com os tempos eventualmente recolhidos num contexto real. Mas, dependendo da estratégia de exploração do modelo, também nos é permitido que funcionemos com o modelo adoptando parâmetros irrealistas, ou se quisermos académicos.

Para a parametrização do modelo, ou seja, para a escolha dos dados de partida para as “corridas” a realizar para cumprir objectivos a que nos propusermos, torna-se fundamental que este possua módulos que permitam reproduzir, de forma aleatória, eventuais dados reais.

Já afirmamos antes que, no *objecto*, o comportamento das unidades intervenientes em todas as componentes do sistema, longe de ser determinístico, é caracterizado por uma maior ou menor flutuação com fulcro num valor médio, provocada por diversos factores. Reforçando o que já foi dito, por exemplo, o estado de conservação mecânica dos diversos equipamentos, o traçado e frequência de manutenção das pistas de rolagem, o grau de fragmentação do material transportado, as condições meteorológicas vigentes, o

Posfácio – 70 a 74, 76, 96 a 100

comportamento dos operadores, são só alguns dos factores que afectam os tempos de realização das missões dessas unidades. Será importante realçar que, para além dos factores que podem sofrer variação ao longo de um relevo, há outros que, variam a uma escala temporal mais alargada e que se prendem com o desenrolar da actividade mineira. Por exemplo, pensemos na sucessiva movimentação das frentes de desmonte à medida que se procede ao desmonte de sucessivas “fatias” de rocha. Trata-se de um fenómeno que é passível de quantificação.

Somos então conduzidos à conclusão de que a colheita de dados com vista a manter um modelo que pretendemos represente a pedreira, terá necessariamente que constar da lista de tarefas

a executar na pedreira de forma sistemática e com o mesmo cariz que o esgoto das águas que afluem ao interior da escavação, o taqueio, a conservação das pistas, etc.

Naturalmente, devido à constante interacção das diferentes entidades das várias componentes do sistema, o comportamento geral do modelo durante a simulação, traduzido por grandezas observadoras características (e por nós escolhidas em função dos objectivos orientadores), resulta imbuído de certa complexidade que só tem significado analisar quando encarado na dependência da referida aleatoriedade.

Como regra geral, a modelagem estocástica envolve a substituição de um universo estatístico de elementos reais pelo seu correspondente teórico, um outro universo, seu sucedâneo, descrito por uma ou várias distribuições de probabilidade que se obtém na sequência de uma amostragem das populações de dados reais, por meio de geradores de números aleatórios.

Neste sentido, procedemos à modelagem paramétrica, já em estreita ligação com a simulação.

Tratou-se de descobrir leis de probabilidade conhecidas a que se ajustassem os histogramas construídos relativos aos tempos reais de actividade de todas as entidades observadas. Claro que a qualidade do ajuste, aferida por meio de testes estatísticos, foi um dado a reter; e a qualidade do ajuste é, de alguma forma, mais um parâmetro simplificador que contribuirá para a noção já expressa de que um modelo é sempre uma “caricatura” do objecto; *“Com efeito, dado que toda a medida, por implicar um nível de resolução finito, está necessariamente inquinada de um erro mais ou menos significativo mas nunca insignificante, o problema da identificação das formas analíticas adequadas comporta, obrigatoriamente, um teste de bondade do ajustamento do comportamento calculado ou previsto ao comportamento observado. Porém, ao contrário do que muitas vezes se supõe, uma maior bondade de ajustamento não significa necessariamente, de modo nenhum, uma maior verosimilhança da correspondente representação analítica; com efeito, como se sabe, um teste estatístico serve apenas para rejeitar hipóteses obviamente incorrectas, nunca para forçar a aceitação das alternativas não obviamente implausíveis e, ainda menos, para escolher entre elas.”* (Madureira et al., 1992).

Todos os histogramas de frequência de tempos relativos a tarefas relacionadas com as unidades móveis, camiões e pás-carregadoras encontraram ajuste satisfatório à lei Gama, facto que

decorre da sua versatilidade, uma vez que ela própria, mediante variações nos seus parâmetros, cobre um vasto leque de formas.

Miranda, no Capítulo V da sua Tese de Doutoramento, faz uma exaustiva exposição da lei de distribuição Gama e de alguns casos particulares que ela abarca, dependendo dos valores dos parâmetros α e β que a caracterizam, nomeadamente as leis Exponencial Negativa, χ^2 com n graus de liberdade, Erlang de K termos e Exponencial Potencial.

Existem já procedimentos programáveis para a geração de aleatórios a partir de praticamente todas as distribuições teóricas correntes, bem como para distribuições empíricas. Todos eles assentam em procedimentos capazes de gerarem uma sequência de valores com distribuição uniforme, igualmente provável, no intervalo $(0, 1)$, em que cada um destes valores gerados é, para os efeitos práticos, estatisticamente independente de todos os outros valores da sequência. A distribuição uniforme unitária de valores independentes é, portanto, a base operacional da geração de números aleatórios.

No presente caso, para implementação da rotina de geração de aleatórios com base na lei Gama, fomos preciosamente auxiliados pelo Prof. Abílio Cavalheiro. Como não existe uma solução analítica para o integral da equação que representa a distribuição de probabilidade em causa, o conhecido Método de Inversão não pode ser aplicado; consequentemente todos os procedimentos de geração de aleatórios segundo Von Neumann foram programados por invocação do método de aceitação-rejeição. Este método também vem explicitado, de forma minuciosa, por Miranda no Capítulo V e no Apêndice I da sua Tese de Doutoramento.

Como exemplos ilustrativos do tipo de ajustes na altura obtidos dos dados da amostragem real à lei Gama, apresenta-se o seguinte quadro:

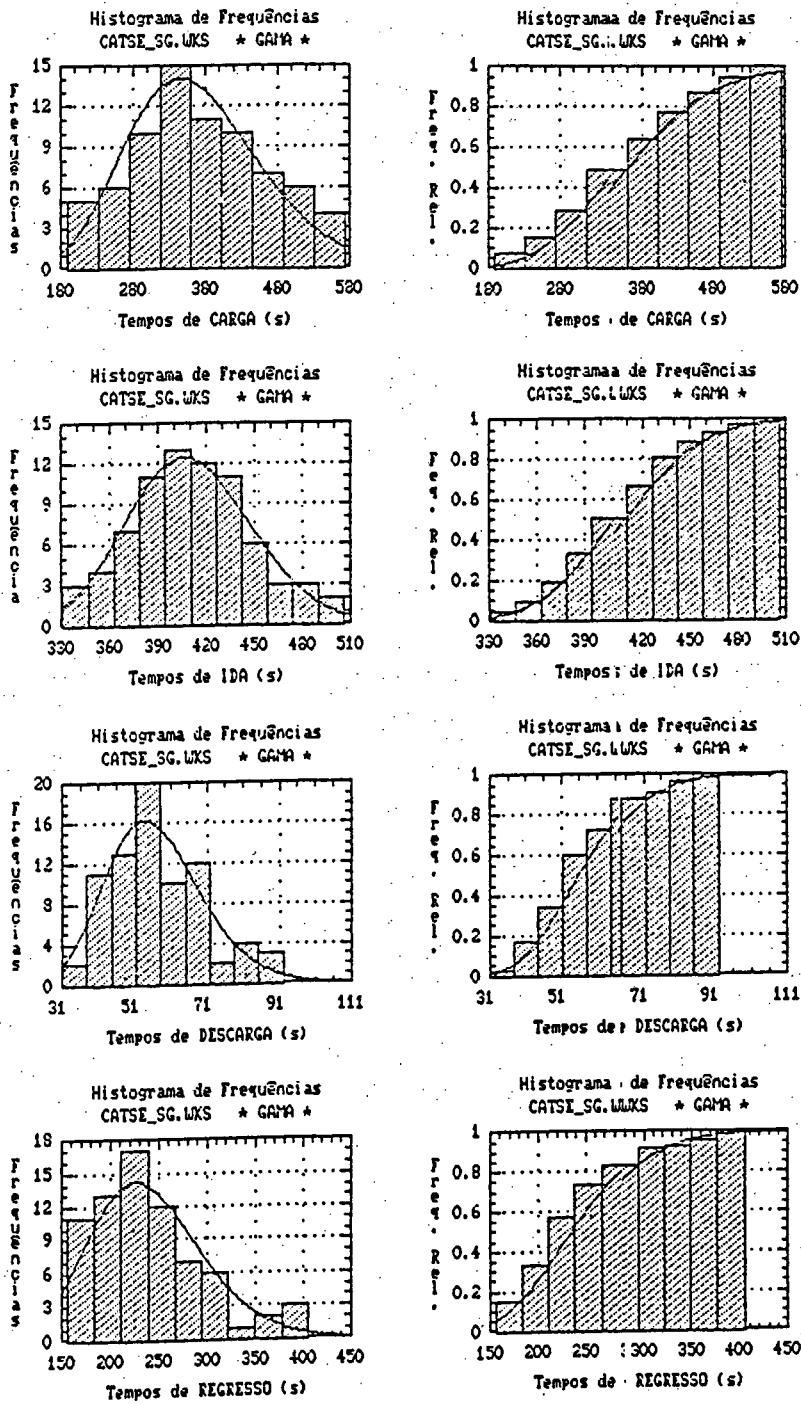


Fig. VIII - 23

Realizamos os testes de Qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov para avaliar a hipótese das populações obtidas pertencerem à distribuição particular Gama. Os níveis de significado dos testes dos ajustes para três tipos de entidades e para as tarefas que lhes estão adstritas são resumidos no quadro seguinte:

	KOLMOGOROV SMIRNOV	QUI-QUADRADO
TEREX		
IDA	0.999	0.6212
DESCARGA	0.343	0.671
REGRESSO	0.999	0.838
CATSE		
IDA	1	0.999
DESCARGA	1	0.806
REGRESSO	0.999	0.942
CATCE		
IDA	0.999	0.880
DESCARGA	0.999	0.897
REGRESSO	0.999	0.922

Tabela VIII - 1

Os tempos de intervalos de funcionamento do britador, obtidos indirectamente por cronometragem automática dos tempos de actividade do descarregador/alimentador de fundo da tolva, depois de recolhidos e agrupados em classes, conduziram a um histograma que se ajustou de forma satisfatória à lei de probabilidade Weibull. Esta lei possui também dois parâmetros α e β , dando-lhe igualmente alguma flexibilidade de forma e escala.

Esta lei possui forma analítica para a função cumulante $F(x)$, sendo mesmo possível explicitar esta última em ordem a x . Como $F(X)$ tem sempre valores no intervalo $(0, 1)$, gerando aleatoriamente e sequencialmente valores da ordenada desta função, é possível obter uma sequência de valores de x procurados possuindo também carácter aleatório. Relativamente aos intervalos de tempo correspondentes às paragens do descarregador/alimentador, não fomos capazes de encontrar ajustes satisfatórios a leis conhecidas.

Tomamos então a decisão de trabalhar sobre a curva de dados reais, depois de devidamente agrupados. Por um método simples (através de uma interpolação linear que se implementa entre valores de classes de tempos), é possível obter dados intermédios entre os limites dessas classes.

Todos os geradores de aleatórios em funcionamento no modelo foram testados com diversos exemplos de médias e desvios padrões de populações-teste, onde, por comparação, se verificaram as correspondências entre aqueles valores de partida e os correspondentes gerados.

m - média σ - desvio padrão		TEREX		CATCE		CATSE		BRITADOR	
		Re.	Ge.	Re.	Ge.	Re.	Ge.	Re.	Ge.
Carga	m	209.7	207.7	363.3	364.15	369.4	380.3	*	*
	σ	60.5	62.7	102.2	114.12	93.8	95.0	*	*
Ida	m	400.9	404.3	482.7	484.18	410.4	410.9	*	*
	σ	31.3	31.0	37.8	36.16	38.8	32.7	*	*
Descarga	m	62.4	63.4	77.4	76.18	56.8	56.8	*	*
	σ	12.7	13.3	11.8	12.7	13.3	13.0	*	*
Regresso	m	258.6	258.2	225.5	229.12	240.3	242.3	*	*
	σ	43.4	44.4	27.3	27.10	58.1	56.6	*	*
Ligado	m	*	*	*	*	*	*	103.2	101.4
	σ	*	*	*	*	*	*	139.5	149.4
Desligado	m	*	*	*	*	*	*	38.0	35.7
	σ	*	*	*	*	*	*	68.1	52.9

Re. - Valor real.
Ge. - Valor gerado.

Tabela VIII - 2

Todos os dados resultantes da análise da modelagem paramétrica, necessários para a realização das simulações, bem como outras informações fundamentais para cada "corrida" do programa, foram, por razões de salvaguarda do próprio programa, constituídas em lista fazendo parte de um ficheiro autónomo e exterior.

O ficheiro inicial de dados

Foi-lhe dado o nome DADOS.RUN

654321	Semente de aleatórios
5	Passo de observação dos níveis da tolva
0.58	Passo de análise dos níveis da tolva
1000	Número máximo de relevos
15.5	Capacidade da tolva para arranque (> CD)
30	Capacidade máxima da tolva m3
1	Capacidade mínima da tolva m3 (almofada)
0.05	Velocidade de descarga do alimentador m3
2	Número de pás
6	Número de camiões
c:\alex\pedreira\dados\dadexp.out	
c:\alex\pedreira\tolvas\tolvaexp.out	
25200	Tempo de fim de relevo
2	PÁ 1 - Capacidade do balde
30	Tempo médio de arrumação
7.14	Desvio padrão do tempo de arrumação
41.8	Tempo médio de manobra unitária
7.82	Desvio padrão do tempo de manobra unitário
2	PÁ 2 - Capacidade do balde
30	Tempo médio de arrumação
7.14	Desvio padrão do tempo de arrumação
41.8	Tempo médio de manobra unitária
7.82	Desvio padrão do tempo de manobra unitário
2	PÁ 3 - Capacidade do balde
30	Tempo médio de arrumação
7.14	Desvio padrão do tempo de arrumação
41.8	Tempo médio de manobra unitária
7.82	Desvio padrão do tempo de manobra unitário
8	CAMIÃO 1 - Capacidade
400.864	Tempo médio de ida
20.0	Desvio padrão do tempo médio de ida
258.759	Tempo médio de volta
36.17	Desvio padrão do tempo médio de volta
62.3607	Tempo médio de descarga
11.03	Desvio padrão do tempo médio de descarga

8	CAMIÃO 2 - Capacidade
400.864	Tempo médio de ida
20.0	Desvio padrão do tempo médio de ida
258.759	Tempo médio de volta
36.17	Desvio padrão do tempo médio de volta
62.3607	Tempo médio de descarga
11.03	Desvio padrão do tempo médio de descarga
.....	
0.7478	Alfa para weibull do britador ligado (retirado de sg)
85.75	Beta para weibull do britador ligado (retirado de sg)
23	Numero de valores de tempos de paragem
	Frequência cumulativa relativa Classe limite
0	0
0.5259259259	10
0.6962962963	20
0.7481481481	30
0.7777777778	40
0.8074074074	50
0.8222222222	60
0.8296296296	70
0.837037037	80
0.8518518519	90
0.8592592593	100
0.8666666667	110
0.8740740741	130
0.8814814815	140
0.8962962963	150
0.9259259259	160
0.9407407407	170
0.9555555556	180
0.962962963	190
0.9703703704	200
0.9851851852	210
0.9925925926	330
1	440

Modelagem Estratégica

A fase de modelagem a que chamamos estratégica vai corresponder à adaptação do modelo a determinados requisitos com vista a permitir obter pistas que conduzam a soluções possíveis para o Problema Primário proposto.

Se o nosso objectivo é analisar a existência, ou não, de uma dimensão óptima para a tolva de armazenamento, situada numa pedreira com uma dada configuração de unidades circulantes às quais foram atribuídas actividades devidamente caracterizadas e que lhe fazem afluir material, bem como uma máquina que promove a descarga do seu interior (também com certo regime de funcionamento/encravamento), naturalmente que teremos de fazer recair sobre esta tolva uma atenção especial.

Assim, resolvemos fazer variar, por passos relativamente pequenos, o tamanho desta tolva, mantendo os valores médios das actividades das restantes entidades presentes. Quanto a esta variação, assumimos que deveríamos conduzi-la desde valores mínimos até valores exageradamente altos. Então, um primeiro olhar sobre resultados da simulação deveria recair sobre os níveis médios do material dentro das sucessivas tolvas, correspondentes a diferentes tamanhos desta .

1882 INDCST:=-INDCST+PSCL;

Fig. VIII - 24

Função da experiência acumulada, promovemos uma análise não somente sobre os níveis médios de material na tolva, mas também sobre as médias dos valores dos níveis de material atingidos nas diversas classes de níveis em que subdividimos essa tolva.

Veremos, mais tarde, que esta análise foi condicionada e temperada por critérios plausíveis de optimização.

Ao mesmo tempo, o modelo foi preparado para produzir resultados de diversas variáveis que apelidámos de observadoras e que serão objecto de análise em capítulos subsequentes.

Com um modelo construído segundo a metodologia que temos vindo a expor, quase que nos atrevemos a afirmar que praticamente tudo o que nos ocorrer ao espirito poderá ser retido como sugestões ou hipóteses de partida para análises posteriores.

A título de exemplo, podemos listar algumas das variáveis observadoras que foram objecto de análise:

Tempos de espera dos camiões nas diferentes filas
 Tempo de espera das pás-carregadoras
 Tempos de “espera” da tolva sem material
 Tempos de ciclo efectivo dos camiões e das pás-carregadoras
 Produção do britador
 Frequência de ocupação de lugares nas diferentes filas
 Frequência de níveis de material dentro da tolva
 Frequências de chegada de camiões a pontos críticos da pedreira
 Listagem dos pares camião pá-carregadora estabelecidos com o desenrolar do relevo
 Etc.

Para todos estes tempos, quantidades e frequências, é possível listar valores efectivos instantâneos e respectivas médias. É evidente que será sobre as médias que procederemos a análises, pois pretendemos obter conclusões não casuística mas, dentro do possível, correspondentes a situações estabilizadas de comportamento. Por outras palavras, para o objectivo que nos orienta, não nos interessa a particularidade de um momento num dia de trabalho, mas sim o estado médio de uma certa variável num dia de trabalho. E, como veremos já de seguida, mesmo o valor médio de uma variável num dia de trabalho pode ainda não ser suficiente para uma análise consistente.

Estabilidade das médias

Da estatística, sabemos que uma distribuição das médias amostrais de uma população é assimptoticamente normal, independentemente das características dessa mesma população, isto é, tanto mais próxima da normal quanto maior for o número de amostras.

O modelo construído tem que fornecer informação sob a forma de variáveis com comportamentos diversos ao longo de um relevo. Para que essas variáveis sejam representativas, o que equivale a dizer que se encontram em regime estacionário ou aproximadamente estacionário (permanente em média) no tempo, torna-se necessário recolher um número suficiente de dados para que a tendência da média das mesmas seja clara. Para isso, uma única simulação de um relevo não

basta, recorrendo-se ao encadeamento de relevos, até que uma dada condição de estabilidade seja atingida.

Uma vez que a distribuição da média de determinada variável é sensivelmente normal, temos que impor ao erro padrão dessa média um limite de admissibilidade.

Admitamos uma população de n elementos

$X_1, X_2, \dots, X_n$

a média desta população será

$$\bar{X} = \sum x_i / n$$

o quadrado médio

$$\bar{X}^2 = \sum x_i^2 / n$$

O desvio quadrático

$$\sigma_p^2 = \bar{X}^2 - (\bar{X})^2$$

e a variância da média

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \sigma_p^2 / (n-1)$$

Com o valor da variância da média, podemos determinar o desvio padrão da média e impor-lhe determinada condição. Assim, obrigamos o desvio padrão

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\sigma_p^2 / (n-1)}$$

a ser menor que determinada fracção K da média

$$\sigma_{\bar{X}} \leq K \cdot \bar{X}$$

Para implementar esta condição, realizam-se sequências de relevos, registando-se as informações necessárias no fim de cada um, em variáveis somadoras/contadoras.

```

1779      SMEDPR: = SMEDPR + PRODA;
1780      MEDPR: = SMEDPR / INDREL;
1781      SPR: = SPR + MEDPR;
1782      S2PR: = S2PR + (MEDPR * MEDPR);
1783      MPR: = SPR / INDREL;
1784      M2PR: = S2PR / INDREL;
1785      IF (M2PR - (MPR * MPR)) < -0 THEN
1786      BEGIN
1787          DP_PR: = 0;
1788      END
1789      ELSE
1790      BEGIN
1791          DP_PR: = SQRT((M2PR - (MPR * MPR)) / (INDREL - 1));
1792      END;
```

Fig. VIII - 25

```

1851      UNTIL
1852
1853      ((tolva = 1)
1854      AND (DP_FP < (0.005 * MFP))
1855      AND (DP_PA < (0.005 * MPA))
1856      AND (DP_FB < (0.005 * MFB))
1857      AND (DP_TSC < (0.005 * MTSC))
1858      AND (DP_PR < (0.005 * MPR))
1859      OR (INDREL = numaxrel);
1860
1861      WRITE(FILAOUT, MFP:8:3, ' ', MPA:8:3, ' ',
1862      MFB:8:3, ' ', MPR:8:3, ' ', INDREL, ' ', MTSC:8:3, ' ');
1863
1864      FOR I: = 1 TO ND DO WRITE(FILAOUT, MINFB(I):8:3, ' ');
1865
1866      WRITELN(FILAOUT);
1867
1868      WRITELN(FILANTV, INDCST:4:2);
1869
1870      WRITELN(FILANTV);
1871
1872      FOR I: = 1 TO numclass DO
1873
1874      BEGIN
1875          WRITELN(FILANTV, MNT(I):8:3);
1876      END;
1877
1878      WRITELN(FILANTV);
```

Fig. VIII - 26

Atingida a condição de estabilidade, a simulação é interrompida.

Fluxograma geral e programação

Com o objectivo de clarificar mais um pouco a ossatura geral do programa implementado, apresenta-se na figura VIII – 27 um fluxograma simplificado, focando os principais aspectos da modelagem estratégica:

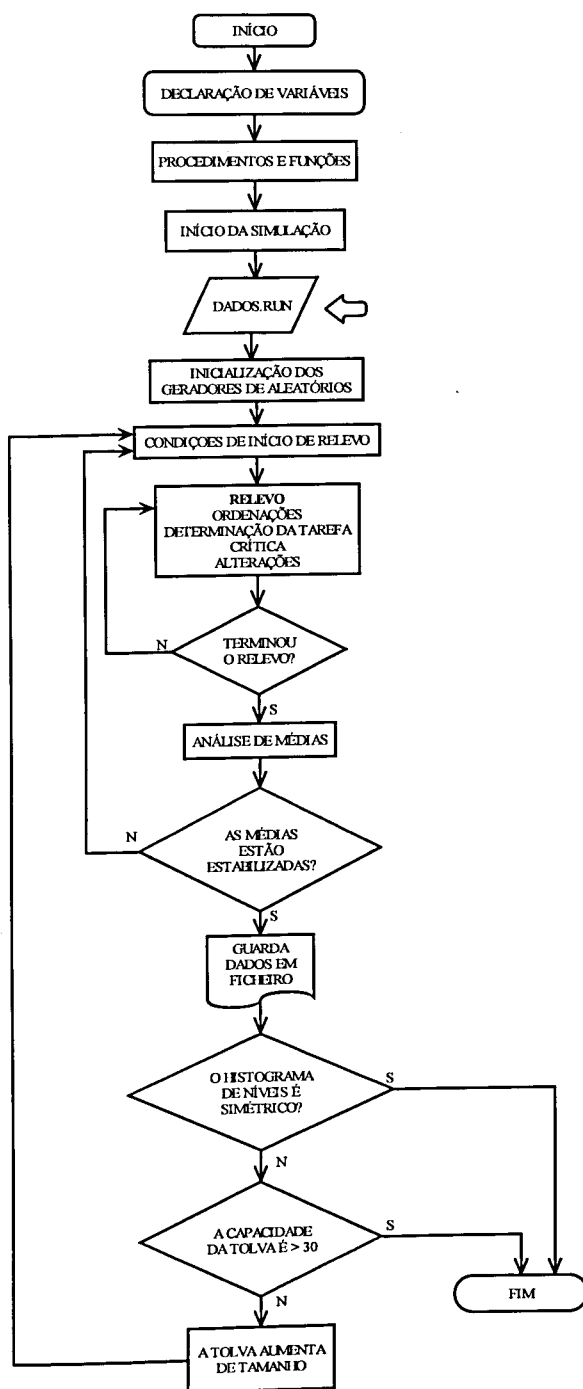


Fig. VIII - 27

Ao longo deste capítulo, o leitor pode confrontar as opções tomadas quanto ao modo de implementação do modelo com extractos do programa escrito em Pascal que serviu de base à simulação. A referência ao número das linhas das instruções escritas permite ajudar a localizar essas linhas nos diferentes módulos da listagem que se apresenta em anexo. A versão da listagem apresentada sofreu ao longo do tempo inúmeras alterações de acordo com os diferentes objectivos de exportação de dados, bem como das mudanças de estratégia de simulação que foram sendo redefinidas e implementadas no decurso do trabalho.

O recurso à linguagem Pascal para transformação do fluxograma desenhado em sequência lógica de instruções (programa de computador) permitiu, para além de estabelecer uma disciplina clara na programação, recorrer:

- a uma estruturação do programa em blocos (materializados nas sequências de instruções limitadas por BEGIN e END)
- ao uso de tabulações para clarificação dos blocos construídos
- a procedimentos e funções (como programas autónomos) que realizam tarefas a que se acede diversas vezes ao longo da simulação
- consulta de ficheiros previamente criados (dados iniciais)
- à criação de arquivos de dados em ficheiros e actualizações dos mesmos sempre que novas informações necessitam de ser armazenadas
- a comentários ao longo da listagem
- a visualizações da dinâmica da simulação em ecrã de computador
- a criação de ficheiros executáveis do programa compilado acelerando a simulação
- a funções de ciclo controladas por condições lógicas (por exemplo IF-THEN-ELSE, REPEAT-UNTIL, FOR-(TO, DOWNTON)-DO e WHILE-DO)
- a funções de controlo condicional permitindo a escolha de blocos de entre vários disponíveis (CASE – OF)

Validação do Modelo

Nas experiências de simulação em computadores, a questão da validade do programa coloca-se como o problema da obtenção de garantias de que o modelo construído e utilizado tem afinidades com o *objecto* que pretende representar, de tal forma que as conclusões e inferências obtidas possam ser interpretadas e, eventualmente aplicadas, a esse mesmo *objecto*. Surge então o problema de estabelecer se um dado resultado é ou não plausível, se possui alguma lógica. É que, frequentemente, o nosso espírito humano vê verdades, para seu descanso, onde elas não existem. Este tipo de atitude é fruto da dificuldade em aceitar a necessidade de permanentemente viver numa postura de refutação do artefacto construído com vista a alterá-lo para um estado de melhor representação do real. Somos tentados a acreditar nas nossas criações e ai de quem nos contestar!

Na fase de validação, há dois aspectos a ter em conta. Por um lado, devemos verificar se não existe nenhum erro conceptual na elaboração do esquema que pretendemos implementar e, por outro, se garantimos uma estabilidade das médias das variáveis que são *objecto* da nossa análise em virtude de nos encontrarmos a trabalhar com um sistema estocástico.

Um caminho a seguir é realizar algumas experiências com o simulador, criando saídas de dados, fáceis de interpretar e com correspondente efeito conhecido no *objecto*. Isto permitirá, de modo expedito, averiguar se há erros de monta no programa construído.

Na situação de que partimos para este trabalho usufruímos de muitas experiências realizadas, no passado, sobre um modelo anterior ao actual (e, de certa forma, não muito diferente deste) que permitiu testar em múltiplas situações a coerência do artefacto. Isto não implica que não se coloque um cuidado extremo no estudo dos resultados que agora se produzem para verificar a coerência desses mesmos resultados. É que os erros, mesmo que de pequena monta, quando repetidos n vezes numa simulação, podem mascarar os resultados, dificultando as interpretações ou arrastando, quem as estuda, para conclusões erradas.

A validação é, portanto, um processo inacabado e que se deve executar sempre que uma nova experiência é realizada com o modelo e se procede à respectiva análise de resultados no quadro conceptual do utilizador.

Cabe aqui referir o uso do simulador em diversas aulas práticas de disciplinas da Licenciatura em Engenharia de Minas da FEUP. Esse uso, para além de realçar um conjunto interessante de virtualidades como ferramenta didáctica, funcionou (e funciona) como meio de validação do modelo construído. Nessas aulas o modelo é testado à custa de parâmetros de arranque propostos pelos alunos e observados os comportamentos do sistema de forma dinâmica. Como são muitos os intervenientes na fase de observação, torna-se possível detectar as diferenças entre o modelo e a realidade (que realmente sempre existem) e mesmo eventuais anomalias de funcionamento que possam ocorrer.

Capítulo IX
O Modelo de Miranda e alguns resultados

“Dita a experiência, no entanto, que um modelo dotado de semelhantes atributos não se constrói em geral de uma só assentada: representa o culminar de laboriosa sistemática que, começando na representação dos casos mais simples, compreende a análise e crítica rigorosa dos resultados obtidos mediante a exploração do modelo construído e que, caso aqueles atestem a sua validade, permite a elaboração de novos e mais sofisticados modelos, passo a passo desenvolvidos a partir do primeiro, não se perdendo de vista que o objectivo a atingir é a obtenção de um modelo capaz de reproduzir o mais fielmente possível a máxima diversidade de sistemas genéricos reais (existentes ou em projecto) cujo comportamento se pretende simular.”

(Miranda, 1986).

O Modelo de Miranda e alguns resultados

Caracterizado que está o modelo por nós construído e que serviu de base à fase de investigação em que nos encontramos, entendemos ser interessante voltar um pouco atrás e realizar uma síntese, ainda que rápida, sobre os modelos anteriormente construídos e respectivas conclusões inferidas da simulação com esses mesmos modelos.

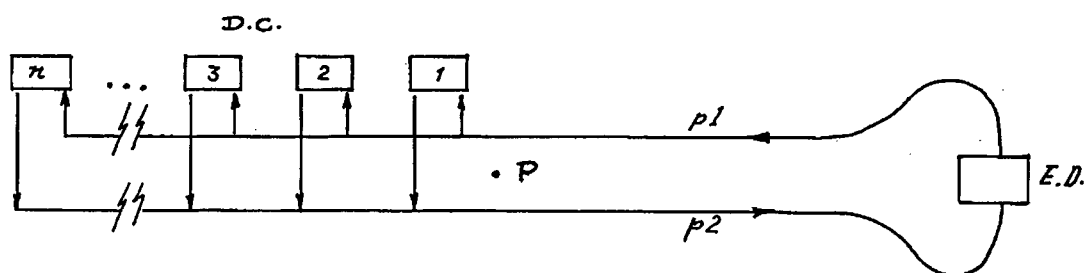
Iniciamos esta volta pelo trabalho desenvolvido por Miranda, **“Transportes Mineiros: Efeitos Peculiares da Disciplina do Fecho do Relevo”** (Miranda, 1986), apresentando alguns parágrafos do final da sua Tese de Doutoramento:

“Dir-se-ia que um modelo tão simples, representando um “modus operandi” quase irrealista, não justificaria o trabalho que investimos na sua fundamentação matemática, implementação em computador, exploração e análise de resultados. Mas foi deliberadamente que nos remetemos para

um modelo simples, que não obstante nada tem de simplista, de uma realidade que sabemos ser muito mais complexa.”...”Uma vez que nos propusemos pôr em evidência de um modo irrefutável os mecanismos mais finos, por vezes subtis, e subjacentes à formação de índices de desempenho, conhecer idiosincrasias e assinalar peculiaridades de funcionamento mal conhecidas, ou mesmo de todo ignoradas, dos sistemas de transportes rodoviários mineiros, impunha-se que em nome de um prudente e saudável critério metodológico arrancássemos do mais simples, ainda que irrealista em larga medida, para o mais geral e complexo. Foi o que fizemos, isto é, um arranque.” (Miranda, 1986).

Efectivamente, temos vindo a aprender que a modelagem de “objectos” aparentemente simples mas contendo elevados graus de complexidade real, só é frutuosa se encarada partindo do simples para o complexo. E, como veremos de seguida, já nas primeiras fases da abordagem, mesmo nas modelagens bastante irrealistas, essa complexidade ressalta aos olhos do investigador.

Miranda apresentou um modelo para o “objecto” que nos ocupa que, em linhas gerais, pode ser descrito da seguinte forma:



Esquema da configuração física genérica simulada por Miranda (Miranda, 1986 - Pág. IV - 9)

Fig. IX - 1

- Existe um dispositivo de carga (D.C.) privativo para cada unidade transportadora. Podemos, por outras palavras afirmar que, neste modelo, cada camião tem sempre a mesma pá-carregadora cometida à tarefa de o carregar obrigando, sempre, à existência

de um número de pás igual ao número de camiões. É também suposto que as pás são em tudo iguais umas às outras.

- Há uma só estação de descarga (E.D.), supondo-se que a sua capacidade de aceitação é infinita.
- As pistas P1 e P2 onde se deslocam as unidades transportadoras não comportam cruzamentos. Admitindo que se trata de uma única pista, esta estará dotada de largura suficiente para que o tráfego se processe com fluidez em ambos os sentidos.
- A distribuição das unidades de transporte na ida à carga faz-se a partir de um ponto P sensivelmente equidistante de todos os dispositivos de carregamento.

Admitindo estas características genéricas, o modelo procura representar uma exploração mineira que possui um certo número de pontos de carregamento, cada um deles provido de um dispositivo de carga idêntico e aos quais aflui igual número de unidades transportadoras todas semelhantes. Estas chegam a um ritmo aleatório, mas dirigindo-se cada uma delas ao dispositivo de carga que lhe foi previamente destinado (sempre o mesmo).

Em cada ponto de carregamento, cada unidade transportadora é retida durante um certo intervalo de tempo de grandeza aleatória, correspondente à duração da operação de carga. Finalizada esta, cada unidade carregada realiza o percurso em direcção à estação de descarga, descarrega e efectua a viagem de regresso ao respectivo ponto de carregamento. A estas actividades (viagem de ida, descarga e viagem de regresso) associam-se também durações de grandeza aleatória.

Admite-se ainda que, no intervalo de tempo que medeia entre duas apresentações sucessivas de uma unidade transportadora junto do respectivo dispositivo de carga, cada um destes últimos efectua determinadas tarefas imprescindíveis ou aconselháveis para que a operação de carga subsequente decorra com a máxima eficácia. Estas tarefas constituem uma actividade designada por Arrumação também de duração aleatória.

As unidades transportadoras, em princípio não despendem tempos de espera para serem carregadas, uma vez que a cada dispositivo de carga está afecta uma só (sempre a mesma) unidade de transporte. Tal não significa, contudo, que uma unidade transportadora não possa eventualmente registar um compasso de espera antes de começar a ser carregada. Tudo depende, em certa

As disciplinas de arranque e fecho do relevo, não sendo aqui desenvolvidas, são também características fundamentais e particulares do modelo de Miranda, quando analisadas as suas influências nos tempos de ciclo dos camiões, pelo facto de lhes serem acrescentadas mais voltas num mesmo relevo em virtude de se implementar um aumento da variabilidade dos tempos de tarefa.

Depois desta exposição genérica do modelo de Miranda, detenhamo-nos sobre alguns dos seus resultados: tendo partido de um problema primário semelhante ao nosso, ao proceder a simulações sobre o seu modelo, rapidamente se deteve sobre a exploração de resultados que, só por si, foram suficientes para a elaboração da sua tese. Dada a novidade e importância conceptual de tais resultados, o problema primário ficou para segundo plano, tendo-se empenhado numa exploração exaustiva visando a refutação de algo “estranho” encontrado. Esta atitude corrobora as ideias estabelecidas no seio da comunidade científica, e que podem ser resumidas nas palavras de Popper, quando este afirma “... até uma chamada «observação casual» ... é como uma pedra que não esperávamos encontrar no nosso caminho: tropeçamos nela precisamente porque não a esperávamos - ou, para sermos mais exactos, porque esperávamos, ainda que inconscientemente, que o caminho fosse plano. Assim, as chamadas «observações casuais» ou «descobertas acidentais» - isto é, descobertas por tropeção - não são tão acidentais como se podia pensar à primeira vista” ... “... só há um caminho para a ciência: ... encontrar um problema, ver a sua beleza e apaixonarmo-nos por ele; ... a não ser que encontremos outro problema ainda mais fascinante ...” (Karl Popper, 1992).

A análise do comportamento das curvas que quantificam a produção e a produtividade de um sistema como o modelado, em função do número de unidades transportadoras e para diferentes coeficientes de variação das quantidades aleatórias intervenientes (desde situações determinísticas até graus de variabilidade altos) mostra algumas peculiaridades. Por outras palavras, trata-se de implementar variações no modo de desempenho das tarefas adstritas às unidades de carga e transporte, fazendo-as variar desde a situação em que executam actividades exactamente sempre da mesma forma, até situações em que a liberdade de actuação é grande, caracterizada por um certo grau de “entropia”. Naturalmente, espera-se que o modo final das interacções, nesta última situação,

seja ele próprio caracterizado por um grau elevado de entropia, baixando a eficácia das missões adstritas às entidades do sistema.

A análise dos gráficos que se seguem, retirados da Tese de Miranda, permite concluir que a conclusão empírica do último parágrafo nem sempre é verdadeira.

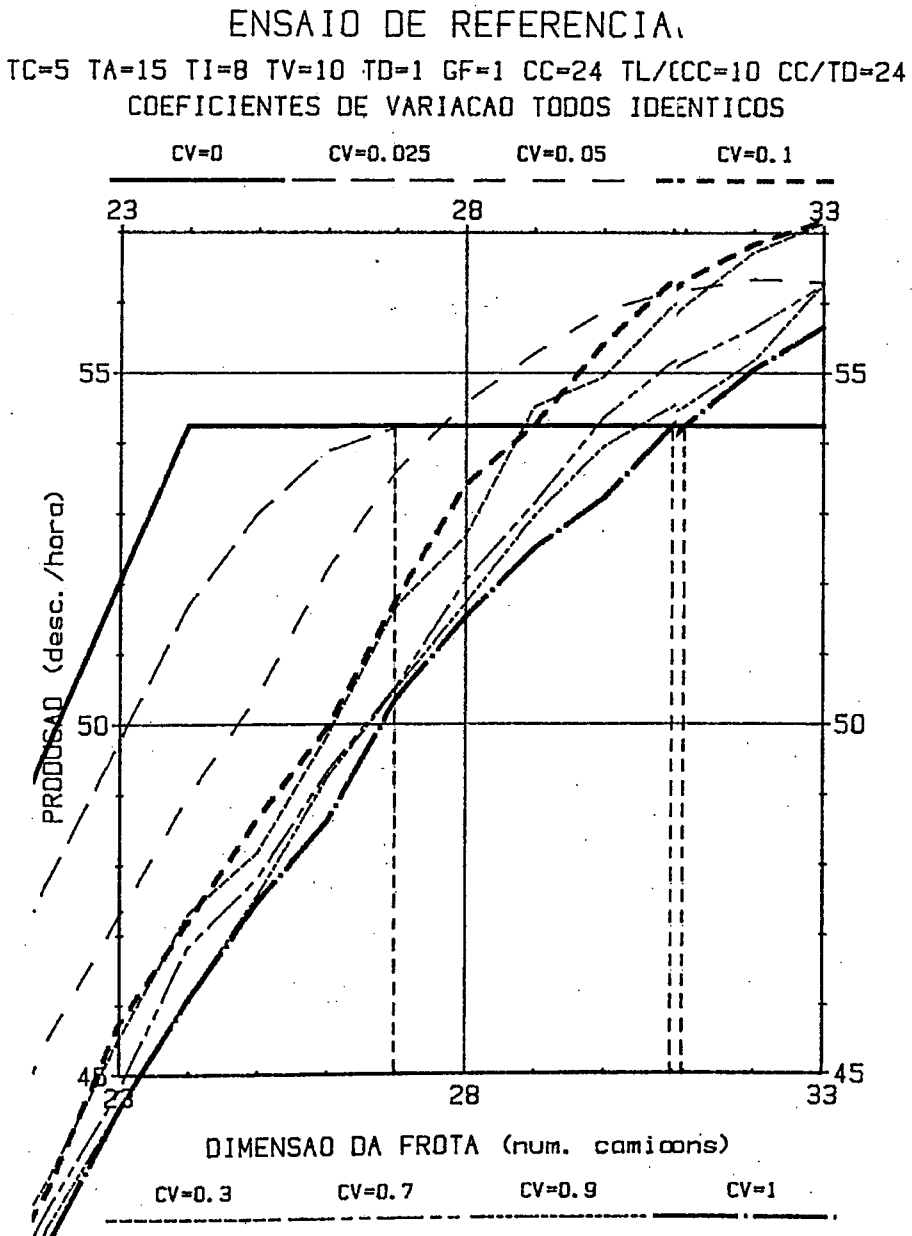


Gráfico da Fig. VI - 9 de Miranda (Miranda, 1986 - Pág. VI - 35)

A curva correspondente ao valor da produção do sistema, para diferentes números de entidades carregadoras/transportadoras (NC), e na situação determinística (CV = 0, coeficiente de variação nulo) apresenta um crescimento linear com NC, atingindo um máximo para $N_c = 24$, valor que traduz o número de camiões necessário para que a fila de espera na estação de descarga assuma comprimento não nulo. A partir deste valor, a curva da produção entra em patamar, reflectindo a estabilização da produção realizada à boca da tolva.

Analizando os restantes casos, correspondentes a coeficientes de variação sucessivamente crescentes até ao valor CV = 1, torna-se claro que o aumento da aleatoriedade dos diversos tempo de actividade parece fluidificar a movimentação das unidades de transporte através de todo o sistema, surgindo remetidos para valores progressivamente mais altos de NC os efeitos indesejáveis do congestionamento, traduzido no facto da estabilização da produção por esgotamento da capacidade de absorção da fila de descarga. Miranda conclui *“Trata-se de um aspecto que merece destaque pelo que encerra de contraditório com o senso comum: a modos organizativos (operativos) extremamente rígidos (caso determinístico, CV = 0, ou quase determinístico, $CV \leq 0.025$), impossíveis de implementar na prática, correspondem, até NC = 24 produções altas, tanto mais altas quanto menor a aleatoriedade associada aos tempos de operação; em contrapartida, também não é legítimo afirmar que aos modos operativos mais flexíveis (ou menos controlados ...) correspondam sistematicamente as produções mais baixas. Com efeito, para uma certa gama de valores de NC, as melhores produções começam a obter-se numa faixa de “elasticidade” funcional balizada pelos valores 0.05 e 1.0 do coeficiente de variação. Pormenorizando a análise deste curioso efeito, verificamos que as curvas CV = 0.1 e CV = 0.3, de andamento quase coincidente em toda a extensão do gráfico, intersectam nas vizinhanças de NC = 31, a curva CV = 0.05, situando-se-lhe depois sistematicamente acima e com esfasamento apesar de tudo, não desprezável a partir daquele valor de NC. (Miranda, 1986).*

Através desta análise, Miranda conclui que, para um número de unidades de carga/transporte inferior a 30, uma distribuição de tempos de tarefa com coeficiente de variação baixo é, sob o ponto de vista da produção, mais favorável. Para valores superiores do número de unidades da frota, o mesmo tipo de benefícios só será atingido se forem consentidas maiores aleatoriedades nas distribuições dos tempos de operação.

Estas conclusões são deveras surpreendentes, impossíveis ou difíceis de atingir por meio da experimentação directa sobre o “objecto” ou por simples análise da sua estrutura lógica: *“Esta ilação encerra muito de paradoxal: numa exploração mineira com determinadas configurações da sua rede de pistas e das infra-estruturas de produção e deposição dos produtos, a presença de uma frota de dimensão crescente deveria exigir um controlo progressivamente mais apertado dos tempos médios de execução (contenção das dispersões em intervalos cada vez mais estreitos) com vista a prevenir efeitos de aglomeração (ajuntamento) e mútuo estorvo dos diversos equipamentos móveis. Dito de outro modo, quanto mais numerosos os utentes das infraestruturas e agentes ligados à produção, menos liberdade deveria ser-lhes facultada para derogarem voluntária ou involuntariamente os tempos médios estipulados para execução das respectivas tarefas ou actividades, isto é, a normalidade acrescida da distribuição desses tempos seria condição “sine qua non” para obviar à tendência ao descontrolo (desorganização) do sistema e os reflexos negativos que daí advêm (quebra da produção média horária).*

E contudo, a evidência dos gráficos aponta no sentido oposto, pois como vemos, quando são numerosas as unidades de transporte (e carga) em operação simultânea ($NC \geq 27$), mais aconselhável se torna - porque vantajoso em termos de produção média realizada - que os respectivos operadores e o operador da estação de descarga disponham de elasticidade na gestão dos seus tempos de operação ou, melhor dizendo, na gestão dos tempos elementares integrantes dos tempos de operação que são passíveis de intervenção directa humana (tempos variáveis de raiz não inteiramente “mecânica”, i.e., em cuja composição pesa sobremaneira a parcela de incerteza e subjectividade inerente a qualquer decisão humana, por repetitiva e rotineira que seja). (Miranda, 1986).

Miranda realça o facto de ser difícil imaginar uma forma de pilotar um sistema complexo como o exposto, obrigando-o a situar valores dos coeficientes de variação dos tempos de tarefa entre 0.3 e 0.7, valores esses (no caso apresentado) onde os valores de produção atingem maiores valores médios mais elevados. *“O problema consistiria, em última análise, em saber como determinar, estipular e/ou consentir, em cada circunstância específica, mas de forma conscientemente assumida e minimamente segura - porque passível de controlo - o grau mais conveniente de desorganização*

(no sentido de não rigidez) para que um sistema pudesse maximizar certos índices de desempenho sem que jamais desgarrasse.” (Miranda, 1986).

Os resultados da produção, obtidos por simulação com o modelo, não têm (como este autor refere), nada de miraculoso, uma vez que os ganhos de produção expectáveis através de determinados modos operativos da unidades móveis do sistema têm uma pesada contrapartida. A análise do gráfico que se segue evidencia que os aumentos significativos da produção se conseguem à custa de uma diminuição sensível da produtividade.

No entanto, mesmo neste caso, para situações de não determinismo e para valores altos do número de camiões ($NC \geq 30$) verificam-se valores de produtividade superiores ao caso em que se impõe grande rigidez aos tempos de actividade.

Perante estes novos fenómenos, Miranda ocupou-se numa exaustiva tentativa de interpretação dos mesmos, realizando uma fina “dissecção” de muitos resultados associados ao sistema modelado e que o respectivo algoritmo produzia nos seus outputs.

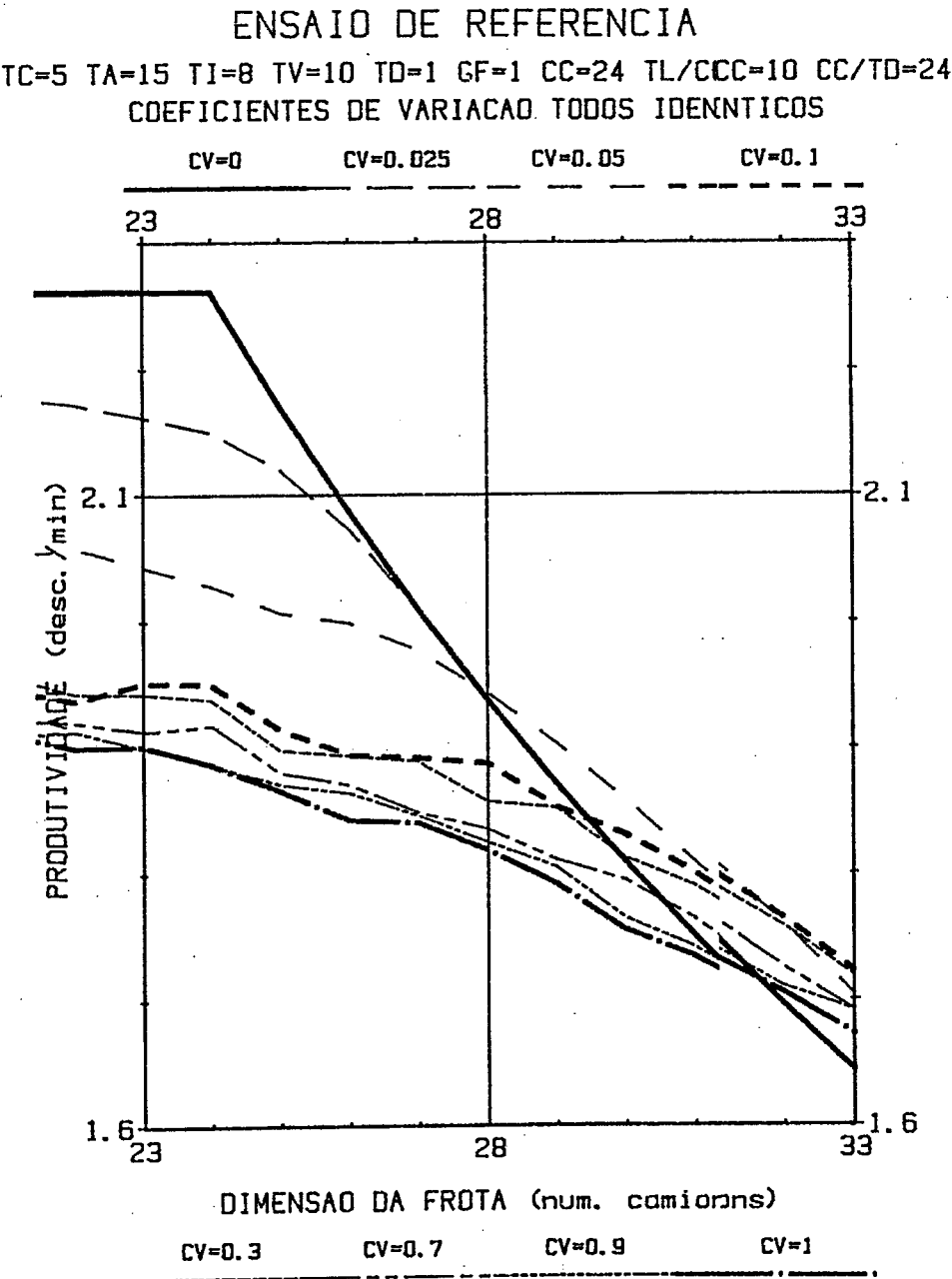


Gráfico da Fig. VI - 12 de Miranda (Miranda, 1986 - Pág. VI - 40)

Fig. IX - 4

Achamos importante referir que todo o trabalho investido por Miranda na implementação de uma metodologia baseada na construção e exploração de um modelo teve como suporte um

computador de reduzidas capacidades, se o compararmos com os que actualmente estão disponíveis para realizar trabalhos de investigação. Os dados necessários à construção de cada curva dos gráficos como os apresentados podia demorar mais de uma semana de trabalho contínuo do computador para serem obtidos. Não devemos esquecer que sistemas como os que ora nos ocupam possuem um número elevado de variáveis essenciais a considerar e uma ilimitada quantidade de combinações possíveis entre as diferentes componentes que o constituem. Por outro lado, a convergência do processo simulado para situações de estabilidade média, sempre necessária, obriga à efectuação de elevados números de réplicas de um mesmo relevo.

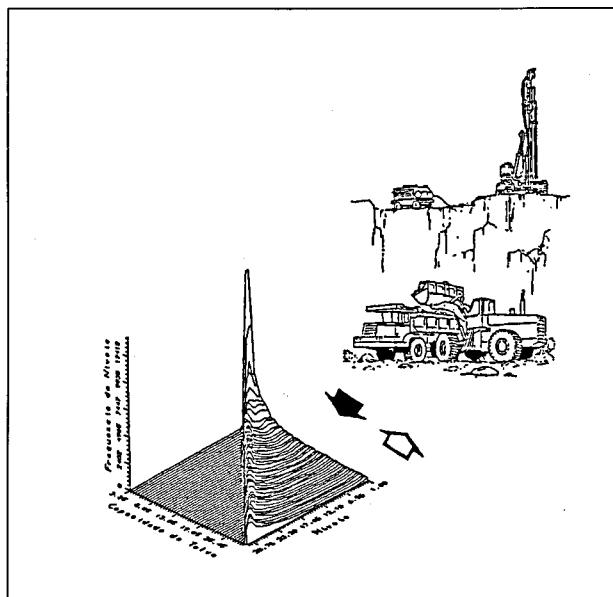
Ainda antes dos nossos resultados

As peculiaridades encontradas por Miranda, nomeadamente as relativas ao aumento da produção associada a alguma aleatoriedade, não foram completamente ignoradas nos nossos planos de trabalho. Porém, em todo o percurso do nosso estudo jamais lhes dedicamos uma atenção profunda nem nunca encaminhámos o modelo para uma exaustiva análise dessas peculiaridades. Como veremos adiante, tentámos investigar a dependência dos resultados do modelo em função de diferentes coeficientes de variação. Todos os resultados foram coerentes com o conceito geral de aumento das produtividades em função do aumento do determinismo das operações.

Com os nossos resultados não se pode concluir que os fenómenos encontrados por Miranda não existam. Por um lado, os modelos trabalhados são substancialmente diferentes e por outro a nossa apertada atenção ao Problema Primário de dimensionamento da tolva não nos encaminhou para os referidos fenómenos. Como afirmou o nosso orientador, ***“não foi encontrado o fenómeno porque não foi procurado”***.

Esta procura, sobre o actual modelo, poderá constituir um dos ramos de investigação para futuro.

Capítulo X
O Nosso Modelo de 1990



O Nosso Modelo de 1990

Como já referimos, encontramos-nos envolvidos no estudo desta parcela da indústria extractiva desde os bancos da escola de Minas, quando pela primeira vez nos foi proposto reflectir, de modo cuidado e sistemático, sobre a sua forma de organização.

Em tempos (Leite, A., 1990) construímos um modelo que, nas suas linhas gerais, se considera semelhante ao que agora nos ocupa.

Como já houve oportunidade de referir, no Capítulo **"O Modelo"**, possuímos um modelo com uma componente de modelagem estratégica fortemente direccionada para o nosso Problema Primário. Nomeadamente, realçámos a componente observacional do estado da tolva em todas as simulações realizadas, bem como o facto de se ter previsto a possibilidade de fazer variar a dimensão da tolva desde valores mínimos de capacidade até limites propositadamente elevados.

Quais são as principais diferenças entre o actual modelo e o anteriormente construído?

São quatro, fundamentalmente.

Primeiro, o modelo então construído não permitia correlacionar o tempo de carga de um camião com a relação entre o volume da sua caixa de transporte e a capacidade da colher da pá-

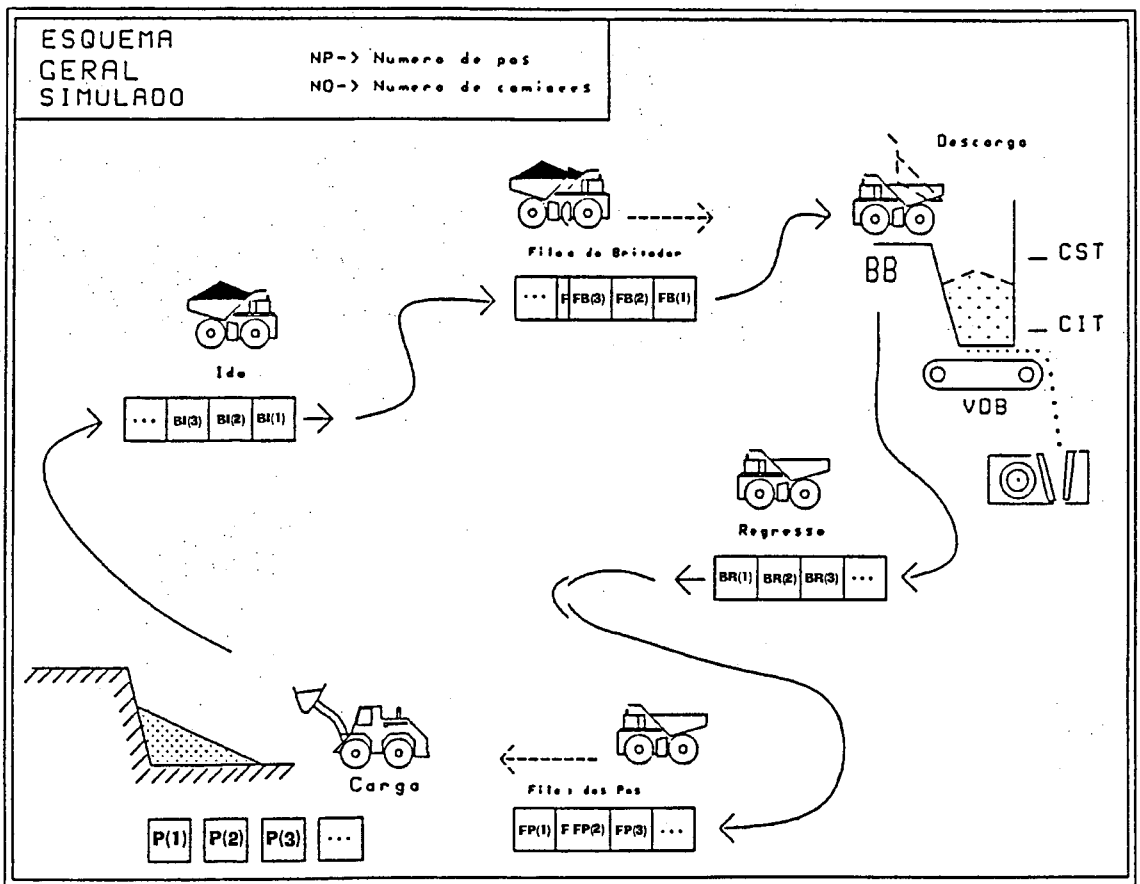
carregadora que o serve em cada operação de carga. Lembremos que, ao contrário do modelo de Miranda, nos nossos modelos permitem-se todas as possibilidades de combinação de pares de entidades - camião/pá-carregadora - na operação de carga. Assim, no modelo da época, o tempo de carga era um parâmetro do camião, não dependente da pá que o estava a carregar (o que correspondia a dizer que as pá carregadoras possuíam a mesma capacidade de balde de carga e que operavam todas em iguais condições mecânicas). Os nossos histogramas de tempos de carga foram construídos tendo como base a recolha de sucessivos tempos de carga dos camiões, independentemente da pá que os carregasse.

Uma segunda diferença diz respeito ao modo como evolui a capacidade da tolva durante as sucessivas simulações de conjuntos de relevos. Com o intuito de observar com mais pormenor o comportamento da tolva, optámos na altura por, ao longo do relevo e em intervalos de tempo fixos, registar o nível de material no seu interior. Este registo serviu para a construção de histogramas de frequência de níveis atingidos de acordo com classes de níveis por nós definidas. Ao mesmo tempo, iniciámos simulações partindo de uma tolva que admitimos de grande capacidade (30 m^3), realizando-se sucessivas simulações de conjuntos de relevos com tolvas cada vez mais pequenas. O decréscimo de tamanho era fixo e definido à partida.

Em terceiro lugar, o modelo anteriormente implementado não testava especificamente a estabilização dos dados relativos às frequências dos diferentes níveis de material na tolva analisados. Esta ausência não é relevante em nosso entender (o que foi confirmado por comparação de resultados dos "outputs" actuais com os produzidos na altura), dado que o número de réplicas já era elevado mercê da exigência de controlo de todas as outras variáveis obrigadas a estabilizar.

Finalmente, referimos que foram acrescentados aos "outputs" várias outras variáveis imprescindíveis para as análises que, no actual trabalho, nos propusemos realizar.

O sistema simulado foi, então, apresentado graficamente com o seguinte diagrama esquemático:



Esquema da Fig. 4 do Modelo de 1990 (Leite, A., 1990 - Pág. 30)

Fig. X - 1

Este modelo foi alvo de uma exploração que hoje classificariamos de "tímida", essencialmente caracterizada pela variação de certos parâmetros (por exemplo, o número de pás-carregadoras, mantendo fixo o número de camiões e vice-versa) seguida de observações do comportamento de diversos resultados.

É interessante recordar algumas convicções que na altura dominavam o nosso entendimento sobre o modo de otimizar o sistema: "A determinação da forma óptima de evolução de um sistema como o que temos vindo a analisar - modo que poderia designar-se por Ponto de Funcionamento Técnico-económico (Miranda, 1986) - é, muitas vezes, uma tarefa bastante complicada, em virtude

da quantidade de variáveis em jogo. Esta sensação penetrou em nós à medida que explorávamos o modelo...

A proposta inicial para este trabalho estava muito centrada na ideia de dimensionar uma tolva para uma dada configuração de transportes de uma certa unidade de exploração. Porém, uma tentativa dessas terá que admitir que a configuração referida se encontra bem dimensionada. E o problema do dimensionamento duma frota não é isento de espinhos, uma vez que ela será dependente da própria tolva, da produção desejada, das capacidades dos camiões e das pás envolvidas, dos tempos de viagem, dos ritmos e tempos de encravamento do britador, etc. Esta é uma das conclusões que pretendemos que o leitor possa vir a adquirir.

Estamos, portanto, em face de um sistema que terá, um dia, de sofrer uma integração num processo de optimização, que prevemos irá conduzir não a uma única solução, mas a várias soluções próximas do óptimo.

Em face destas considerações, não fizemos uma exploração exhaustiva de todas as possibilidades de variação de quantidades susceptíveis de alteração, trabalho que não teria fim, limitando-nos a verificar a coerência do algoritmo, a criar meios de observação conjunta de dados de saída do programa e a realizar algumas “corridas”, variando o número de unidades móveis (pás ou camiões) e verificando o comportamento de diferentes parâmetros em função da capacidade de tolva.”.

A estreiteza do leque de parâmetros submetidos a indagação mostra claramente a timidez, atrás referida, que caracterizou a análise então efectuada. Adiante explicitá-la-emos.

Os resultados da altura foram apresentados em gráficos 3D onde se admitia quase sempre a variável dimensão da tolva como ocupando um dos três eixos do gráfico. Para pequenas variações do número de unidades de carga e transporte, contabilizaram-se os tempos de espera das pás-carregadoras, na ausência de camiões para serem carregados, os tempos despendidos pelos camiões em filas de espera para serem carregados ou para descarregarem na tolva, bem como totais de todos estes tempos de inactividade.

Qualquer função de produtividade terá que ter em conta estes totais, associados às respectivas produções conseguidas pelas frotas a elas associadas.

Como exemplo do tipo de informações obtidas apresentamos dois gráficos (precisamente um com totais de esperas e outro com produções) representativos de uma situação analisada. São relativos a uma frota fixa de nove camiões e onde se permitiu variar o número de pás de uma até nove unidades.

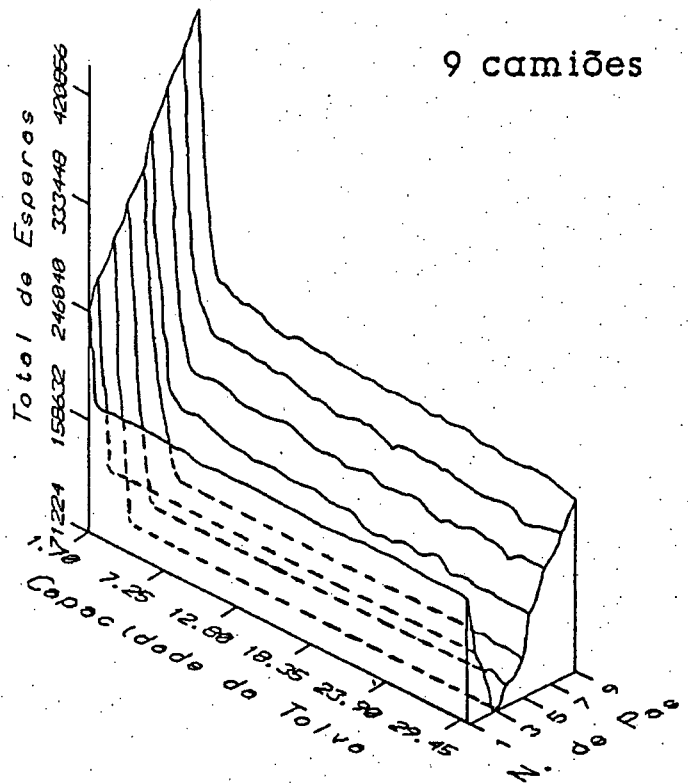


Fig. X - 2

"Fica claro que uma frota de três pás determina um menor intervalo de esperas totais, desde que a tolva não diminua de capacidade para valores muito baixos; mas isto não significa que esta seja necessariamente a configuração que apresenta menores custos.

Baixar o número de pás traduz-se num aumento significativo das esperas totais, pelo peso assumido pelas paragens de camiões na fila das pás. Por outro lado, aumentar este número para valores superiores a três acarreta aumentos de tempos de espera na fila da tolva e de inactividade das próprias pás."

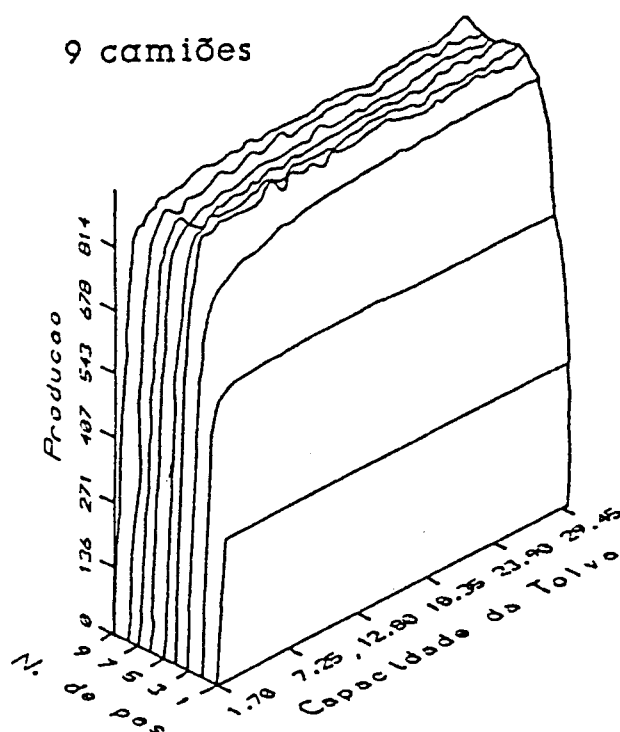


Fig. X - 3

“Vemos que a quantidade de material passado no britador aumenta bruscamente com o início do aumento da capacidade da tolva (acima de um certo e reduzido valor mínimo), para depois vir a estabilizar em patamar para valores superiores a esse valor mínimo. Este comportamento repete-se para qualquer numero de pás. O valor zero da produção, que se apresenta para a tolva de capacidade mínima, tem razão de ser, em virtude de não ser admitida nenhuma descarga de camiões pois o volume disponível nessas tolvas é inferior à capacidade dessas unidades. ... Percorrendo agora a “superfície” no sentido do crescimento da quantidade de pás, vemos que, para frotas variando de uma até quatro pás, a produção aumenta quase sempre por passos significativos, para depois se manter aproximadamente sem evolução para frotas de composição superior a quatro. Podemos concluir que um número de pás superior a quatro virtualmente não acarretaria aumento de produção, mesmo que a tolva fosse de grande capacidade.”

Analisados estes dois gráficos, e com o sentido de clarificar o tipo de envolvimento que na altura tivemos relativamente ao Problema Primário de dimensionamento da tolva, vamos reproduzir algumas outras conclusões relativas a esta questão e centradas em outros tipos de representação de resultados:

"Os níveis da tolva"

Uma tolva é vulgarmente definida como um meio de estabilizar o caudal de alimentação a uma máquina que se encontra a jusante.

Tentando ir um pouco mais longe, estas unidades podem ser consideradas como que situadas entre dois regimes, um de entrada e outro de saída, que frequentemente flutuam mais ou menos, devido a modos intermitentes de realização dessas tarefas.

Então, este armazém funciona como um filtro que tem por missão apresentar um regime do seu nível o mais estável possível, tentando ter um comportamento que ignora o que se lhe passa a montante e a jusante.

Uma tolva, consoante a eficiência do sistema de transportes da pedreira e o funcionamento do britador, pode levar o nível do material no seu interior a diversas posições. Se a tolva esvazia muitas vezes é sinal que existem problemas no transporte (por exemplo, poucas pás para a quantidade de camiões) sendo bom o ritmo de trabalho do britador. Se ela se encontra frequentemente cheia, pode ser que ela seja pequena ou que o britador encrave muitas vezes. Nestes casos, é provável que a fila de camiões à espera para descarga seja grande.

Vemos que a estabilidade requerida para o nível da tolva depende da capacidade da própria tolva bem como do regime antes e depois desta.

Passemos então a observar os histogramas de frequência de níveis da tolva, resultado das nossas simulações.

Se considerarmos uma frota base de cinco camiões e se igual número de pás estiverem a promover a carga na frente de desmonte, verifica-se que a tolva se encontra quase sempre vazia. A figura 35 (X – 4) mostra isso mesmo. Para qualquer tolva ensaiada, a frequência máxima é sempre em torno do nível de base considerado mínimo.

5 Pás / 5 Camiões

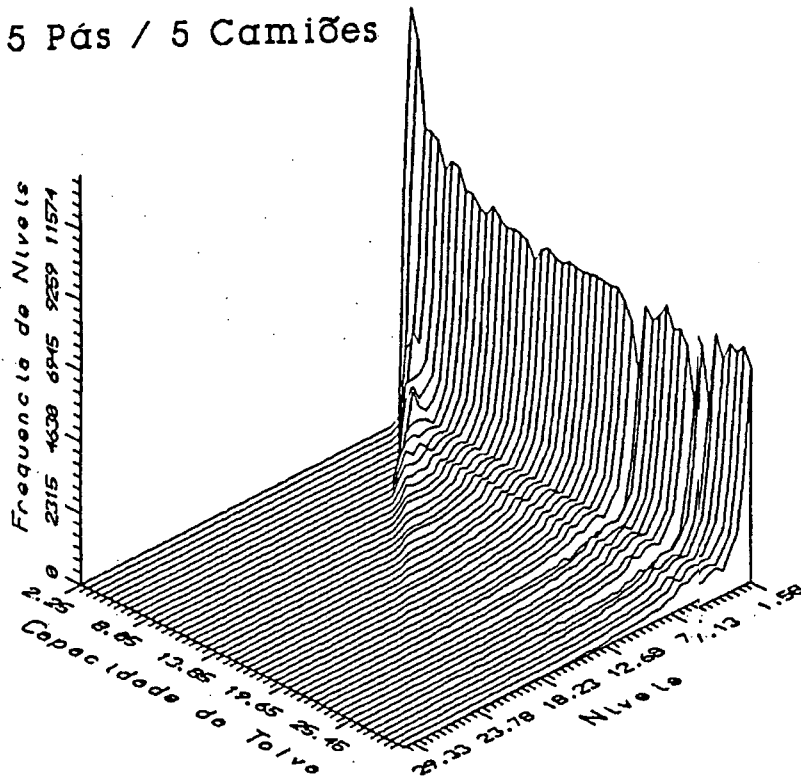


Fig. X - 4

Os alinhamentos de picos de baixa frequência relativos a níveis baixos da tolva são resultado de descargas após instantes de esvaziamento desta.

Uma pequena crista de frequências do lado das capacidades máximas (diagonal do gráfico) esbate-se à medida que as tolvas aumentam de tamanho. A aptidão para absorver material, naturalmente, aumenta, diminuindo as esperas pelo facto de a tolva não encher.

Mas, se na nossa frota for aumentada a quantidade de camiões para oito, o que significa aumentar a eficiência do transporte, o resultado é bastante diferente. Na figura 36 (X - 5), é possível verificar que a frequência máxima se encontra sempre do lado do nível superior das tolvas, pelo menos para tolvas superiores a determinada capacidade.

5 Pás / 8 Camiões

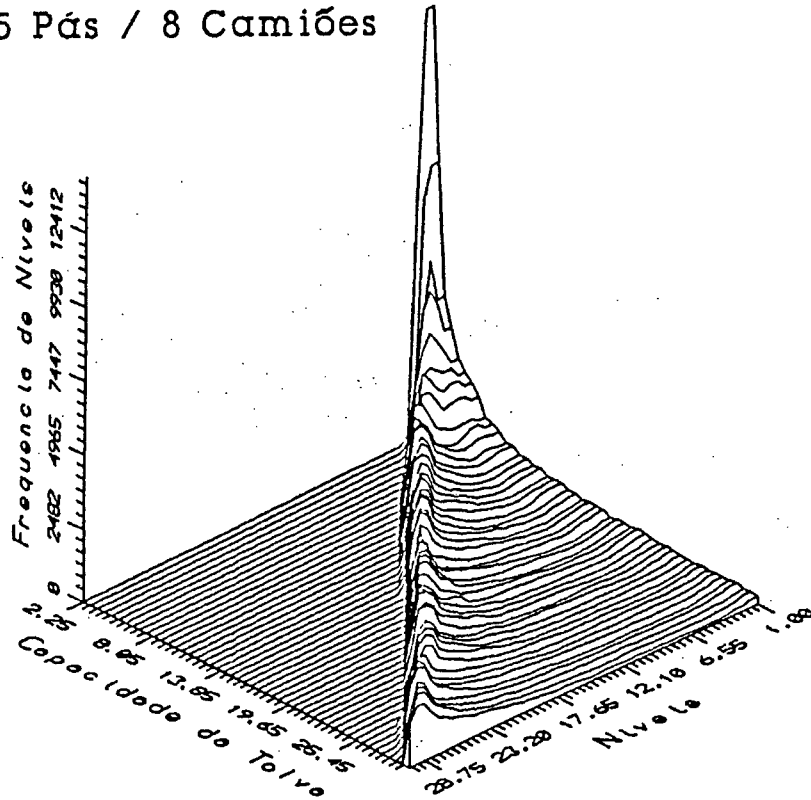


Fig. X - 5

Agora, os instantes em que a tolva se encontra vazia são praticamente nulos, a não ser para tolvas muito pequenas, pelos factos já referidos.

Estes gráficos começaram a mostrar uma forma de quantificar, para uma dada frota de carga e transporte, o comportamento de diferentes tolvas em função dos acontecimentos antes e depois da mesma (por estar inserida no modelo) e que directamente a influenciam.

Mas continuemos com o que na altura fomos afirmando:

“A ideia de que uma tolva deve oscilar o seu nível em torno da sua capacidade média é um dado empírico que está directamente relacionado com o efeito de filtro a que esta unidade se destina.

A grande maioria dos histogramas que realizamos não mostravam claramente a existência de um nível médio frequente. O mais vulgar era aparecerem duas modas, uma em cada extremo, o que corresponde ora à tolva cheia, ora à vazia.

Fomos, então levados a realizar uma ampliação na área relativa a capacidades baixas das tolvas (Fig. X - 5).

Tolva -> 3.915

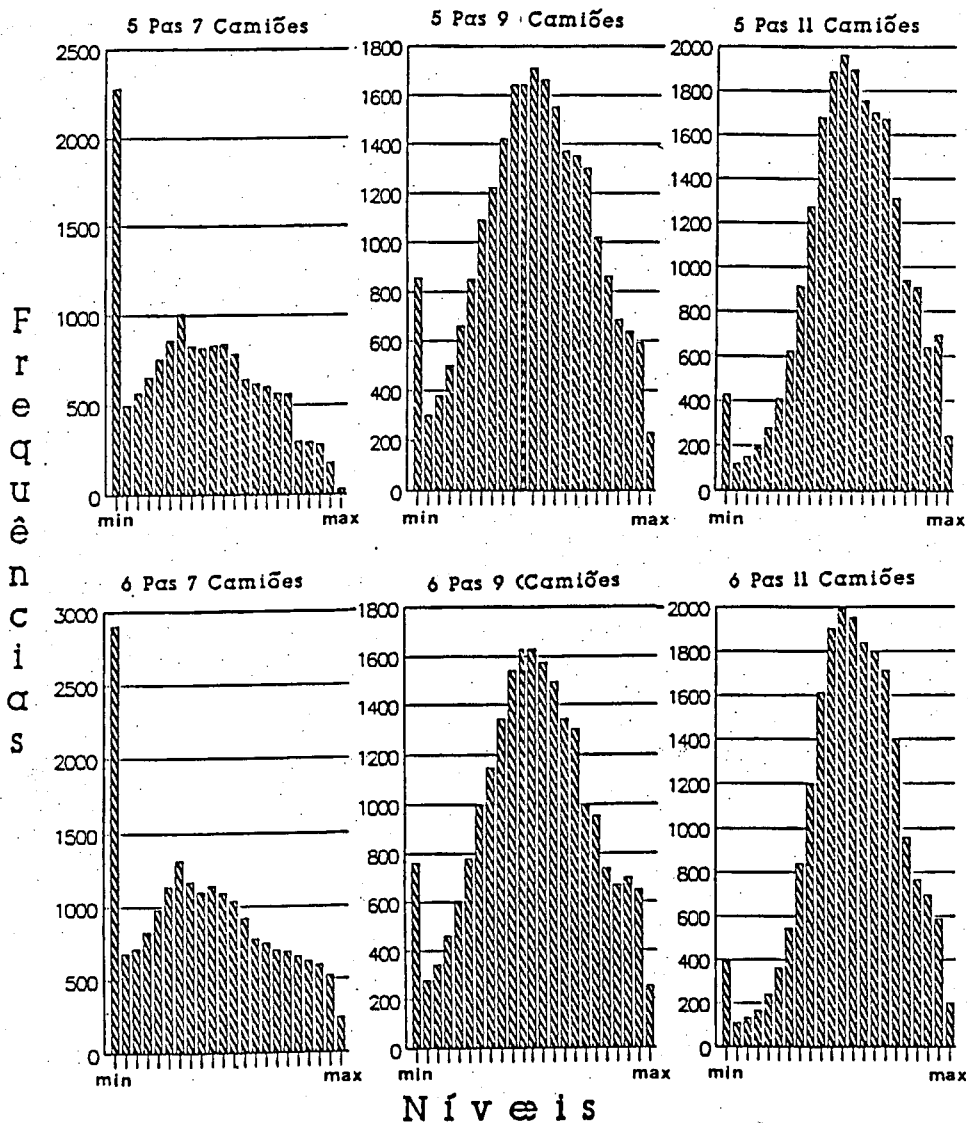


Fig. X - 6

O que procurávamos foi encontrado. Há, efectivamente, uma dada dimensão (ou gamas de dimensões) de tolva em que os histogramas se apresentam com uma moda sobre valores de níveis intermédios entre a capacidade superior e inferior. Alguns exemplos para diferentes frotas e para uma tolva de 3.915 de capacidade máxima encontram-se na figura X - 60.

Então, a eficiência de uma tolva, a sua capacidade de filtrar as perturbações a montante e jusante, pode ser medida pelo grau de dispersão dos histogramas em torno do nível médio em que a moda se situa, bem como pelo aumento da frequência dessa moda.

Vemos que, pelo facto de variar só a quantidade de pás ou só a quantidade de camiões, o histograma aproxima-se ou afasta-se do óptimo.

Directamente relacionada com a produção, os picos sobre os níveis mínimos existentes nos exemplos apresentados, numa perspectiva de optimização, devem ser minimizados.

Em larga medida, os trabalhos por nós agora realizados encaminharam-se segundo uma direcção apontada por estas conclusões.

As representações apresentadas e as conclusões que delas é possível retirar, só são válidas para estas configurações, não podendo ser entendidas como regras gerais a adoptar para todos os outros casos. No entanto, uma regularidade de efeitos previstos é detectada, o que pode levar a, eventualmente, um dia, depois de exploradas muitas outras situações num contexto de optimização, começar a retirar algumas leis dominantes."

Uma última conclusão, que veio reforçar o já exposto, e com a qual (esta sim) continuamos "solidários" diz o seguinte: "Embora não se tenha respondido de forma definitiva à questão que pela primeira vez nos foi formulada - tentar dimensionar uma tolva - fica claro que a capacidade de um armazém deste tipo é um parâmetro que pode interferir no seu próprio regime interno, bem como condicionar o comportamento geral do sistema de carga e transporte".

Capítulo XI
O que foi possível observar, até ao presente, com o
modelo construído

“Dizemos que os membros de um colectivo gozam da máxima satisfação em certo estado quando é impossível passar desse estado a outro mais próximo em que cresça a satisfação de todos e cada um dos indivíduos; por outras palavras, qualquer pequena variação em torno de uma posição de máxima satisfação tem por efeito aumentar a satisfação de certos indivíduos à custa da de outros”
(Pareto – 1906)

O que foi possível observar, até ao presente, com o modelo construído

Várias vezes, ao longo da exposição que temos vindo a fazer, referimos que durante a exploração do modelo construído foram detectados comportamentos do sistema que podem por nós serem considerados como correspondentes a uma realidade plausível. A detecção desses comportamentos foi ocorrendo ao longo do trabalho de forma gradual sedo ela, muitas vezes, a “bússola” orientadora dos rumos percorridos.

Neste momento, e por sugestão do nosso orientador, vamos tentar relembrar o percurso que realizámos na fase de simulação, procurando não ocultar a tortuosidade do caminho percorrido, bem como as razões que levaram a percorrer esse caminho e não um de todos os outros possíveis. Pensamos que esta opção poderá conferir algum valor a pequenos factos constatados que, numa exposição pura e simples dos resultados finais, ficariam ocultos.

Vamos ver se somos capazes.

A propósito desta decisão, não resistimos a transcrever algumas linhas da introdução de um

texto, recentemente escrito pelo nosso orientador com o título **“Sobre a história e o conceito de irreversibilidade em Física”**:

“A história da descoberta e da interpretação dos princípios da Termodinâmica é, simultaneamente, uma das histórias mais fascinantes e instrutivas e uma das mais mal contadas de toda a riquíssima hagiografia oficial da Ciência. São múltiplas as razões deste mal-contar, que é, aliás, extremamente frequente na história da Ciência:

- *em primeiro lugar, o desejo dos historiadores da Ciência - frequentemente eles próprios cientistas ou ex-cientistas - descreveram a sua história como correspondente a uma trajectória linear (o preconceito do progresso, por oposição ao conceito de evolução!), o que faz com que esqueçam os múltiplos erros, os becos sem saída, os regressos à origem dos cientistas verdadeiramente criadores e, incidentalmente, faz deles mistos agradáveis de santos e super-homens próprios para a edificação moral das massas ignaras;*
- *logo em seguida, as óbvias dificuldades que todos, desde os historiadores aos cientistas, têm em compreender os complexos contextos culturais da Ciência de épocas passadas, em aceitar humildemente conceitos que, por implausíveis ou insensatos que pareçam hoje, faziam perfeito sentido e eram mesmo necessários no seu contexto histórico próprio.”* (Madureira, 1997).

“... a história dos passos que conduzem à descoberta científica é pelo menos tão fascinante como a própria descoberta...”
(Antunes, J. L. – 1997)

Transformado que foi o modelo usado em 1990, introduzindo-se os tempos de manobra unitários e capacidades das pás carregadoras, quantificando-se os tempos de carga em função das características das máquinas envolvidas nesta tarefa, estabilizando-se as médias das frequências para os diferentes níveis de material na tolva e possibilitando o encadeamento de simulações com o

sistema comportando tolvas de tamanho sucessivamente superior, iniciámos a exploração do modelo.

A hipótese da tolva com frequência de níveis simétrica

Resolvemos reiniciar o trabalho partindo de uma hipótese que, como vimos nos resultados de 1990, se afigurava assaz plausível como confirmação de uma norma empírica de dimensionamento de tolvas de alimentação de instalações de fragmentação e classificação: realizar simulações para diferentes configurações de pás e camiões, partindo de uma tolva pequena, mas parando a simulação sempre que pela primeira vez um histograma de frequências de níveis se apresentasse estabilizado com uma forma simétrica. Foi com a sensação de que este poderia ser um critério de dimensionamento que terminámos as Provas de Capacidade Científica.

Para implementar este critério de paragem das simulações recorreremos a dois controlos, a saber:

- a classe de nível onde se encontra a moda das frequências coincidir, aproximadamente, com a classe de nível correspondente ao nível médio da respectiva tolva;
- satisfazer-se a regra de Pearson para análise da simetria de histogramas.

Este último critério analisa o grau de enviesamento (ou obliquidade) de uma curva de frequências representativa de uma distribuição estatística com base em coeficientes que relacionam a média, moda, mediana e desvio padrão da população. (Christian Labrousse, sem data).

Estes coeficientes permitem caracterizar a assimetria das distribuições das populações, nomeadamente a sua obliquidade à direita e à esquerda.

Com estes dois critérios implementados, iniciámos encadeamentos de simulações admitindo uma velocidade de descarga da tolva de 0.05 m³/s, capacidade das pás carregadoras CP = 2 m³ e capacidade dos camiões CD = 8 m³.

Estes dados de partida não pretenderam reproduzir nenhuma situação real, embora tenham sido usadas médias e desvios padrões de tempos de tarefa recolhidos anteriormente em unidades industriais.

Admitimos que as unidades de carga eram iguais entre si, o que significa que possuíam modos operativos análogos.

Verificamos que, para as 144 configurações que decidimos testar, correspondentes às possíveis combinações de máquinas de carga e transporte quando estas variam de 1 a 12, nunca se atingia uma situação de paragem da simulação antes de se realizar a simulação correspondente à tolva de maior capacidade testada (30 m³). Por outras palavras, seguindo aqueles critérios, em nenhuma das combinações de máquinas testada as simulações conduziram à existência de uma tolva na qual, em média, o material no seu interior se situasse no seu nível médio.

Decidimos observar os diversos histogramas produzidos para tentar compreender as razões que levavam a um resultado como o exposto. A título de exemplo, reproduzem-se alguns dos 144 histogramas de frequência de níveis de tolva:

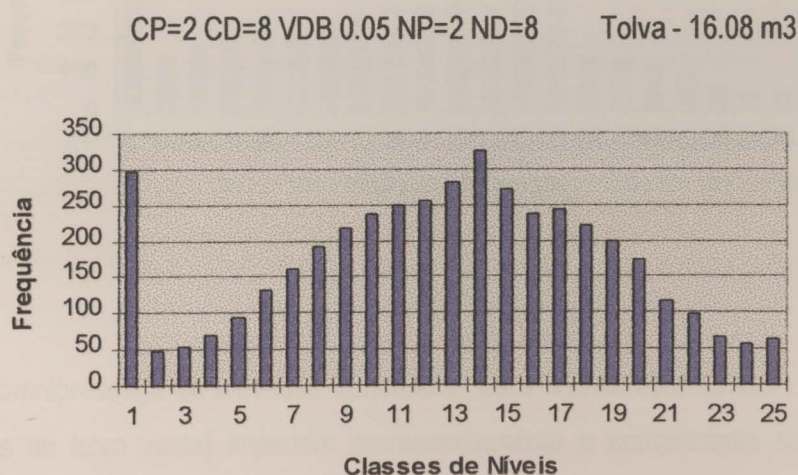


Fig. XI - 1

CP=2 CD=8 VDB 0.05 NP=9 ND=2 Tolva - 11.44 m3

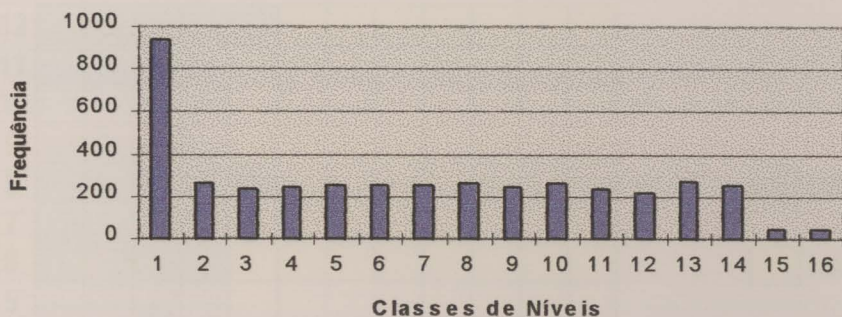


Fig. XI - 2

CP=2 CD=8 VDB 0.05 NP=12 ND=12

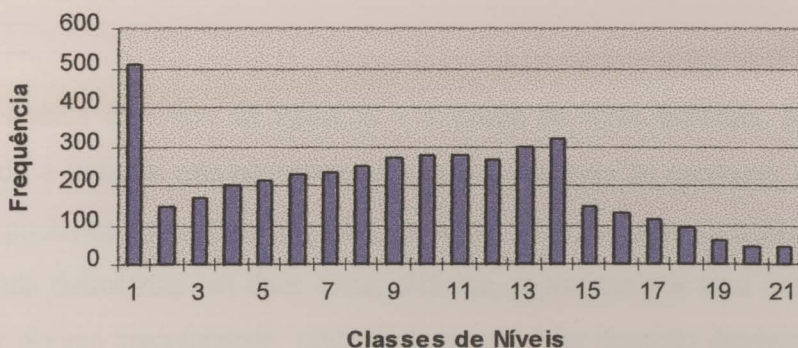


Fig. XI - 3

A omnipresença de elevadas frequências para o nível zero da tolva (ou seja as elevadas frequências de tolva vazia) impedem permanentemente o cumprimento do critério Pearson de simetria, pelo que resolvemos abandoná-lo e adoptar o controlo único da moda situada nas proximidades da classe média de níveis.

Repetimos as 144 simulações, e verificamos que, para muitas das combinações, o critério de paragem funcionou:

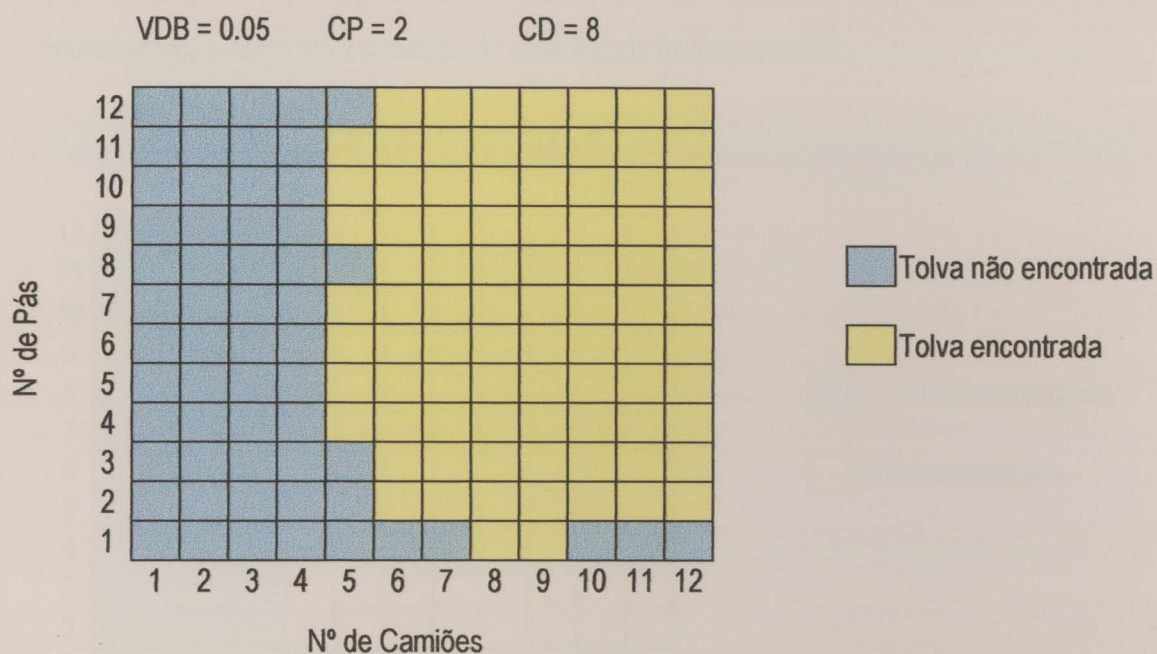


Fig. XI - 4

A análise do mapa da figura XI – 4 (mapa de duas entradas, em que um dos lados corresponde à frota de pás carregadoras e a outra à frota de camiões), mostra que as duas situações possíveis, encontrar ou não encontrar tolva segundo o critério especificado, estão perfeitamente delimitadas em duas áreas distintas, separadas por uma fronteira que, apesar de apresentar alguma irregularidade, nitidamente possui uma direcção dominante, nomeadamente a vertical na representação adoptada.

A irregularidade referida, associada à tendência para uma verticalidade da fronteira, suscitou-nos uma interrogação: o que acontecerá a este limite, se obrigarmos o algoritmo a garantir a estabilidade das frequências de níveis para além de todas as variáveis observadoras que já se encontram sob a alçada desta condição?

E assim fizemos. Como já referimos no Capítulo onde nos dedicámos à análise do modo de assegurar que os resultados obtidos sejam representativos de uma situação estacionária, trata-se de obrigar, neste caso, que a média das médias da frequência de cada nível esteja balizada por limites

que nós próprios impomos, de acordo com o grau de significado desta variável. O resultado da implementação desta nova condição de estabilidade foi interessante:

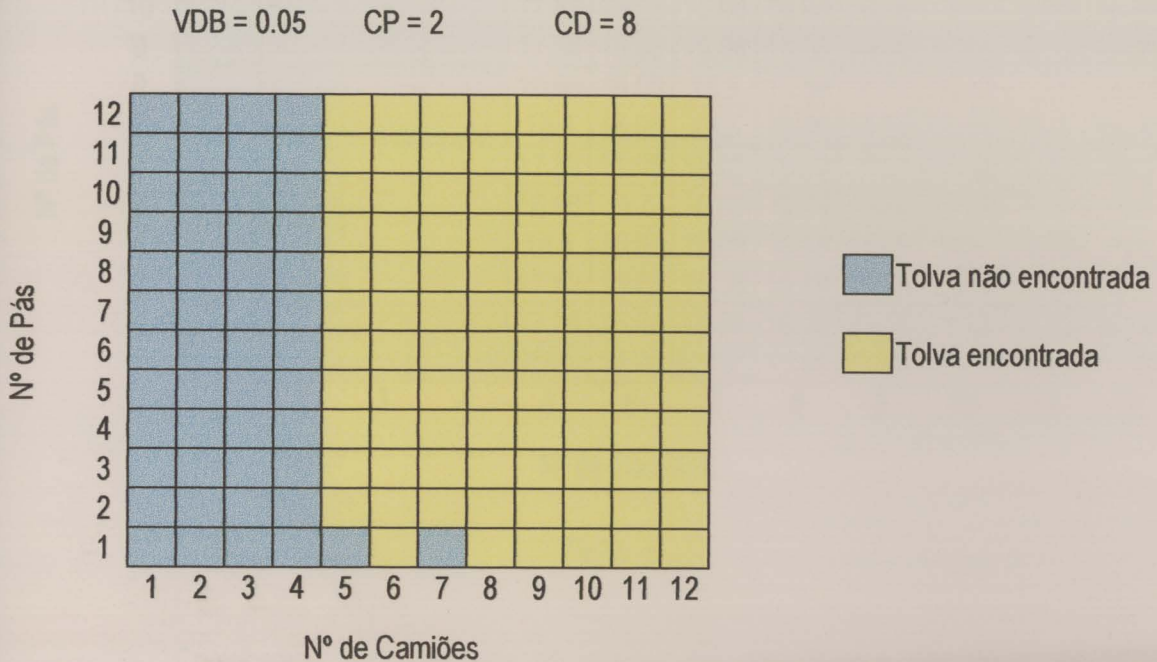


Fig. XI - 5

A regularidade da linha de fronteira entre as duas áreas aumentou. Este acontecimento, a grande regularidade desta linha, inicialmente intrigou-nos um pouco, não nos ocorrendo uma razão para o mesmo.

O passo seguinte consistiu em fazer uma análise sobre a dimensão, ou dimensões, de tolvas que foram obtidas na área correspondente a configurações de frotas de carga e transporte para as quais o simulador detectou um histograma de frequências de níveis com alguma simetria. Relembramos que, para cada par de valores NP, NC, a simulação se inicia com a leitura de um ficheiro de dados de entrada no qual se especificam, para além dos dados necessários à geração de valores aleatórios de tempos de tarefa para cada máquina, o valor inicial de dimensão da tolva (mínimo) e o valor final (máximo) desta grandeza que só será chamado em simulação se, durante os ensaios, não for detectada nenhuma tolva com um histograma de frequências de níveis em que a moda coincida, aproximadamente, com o nível médio de material na tolva. O resultado foi o seguinte:

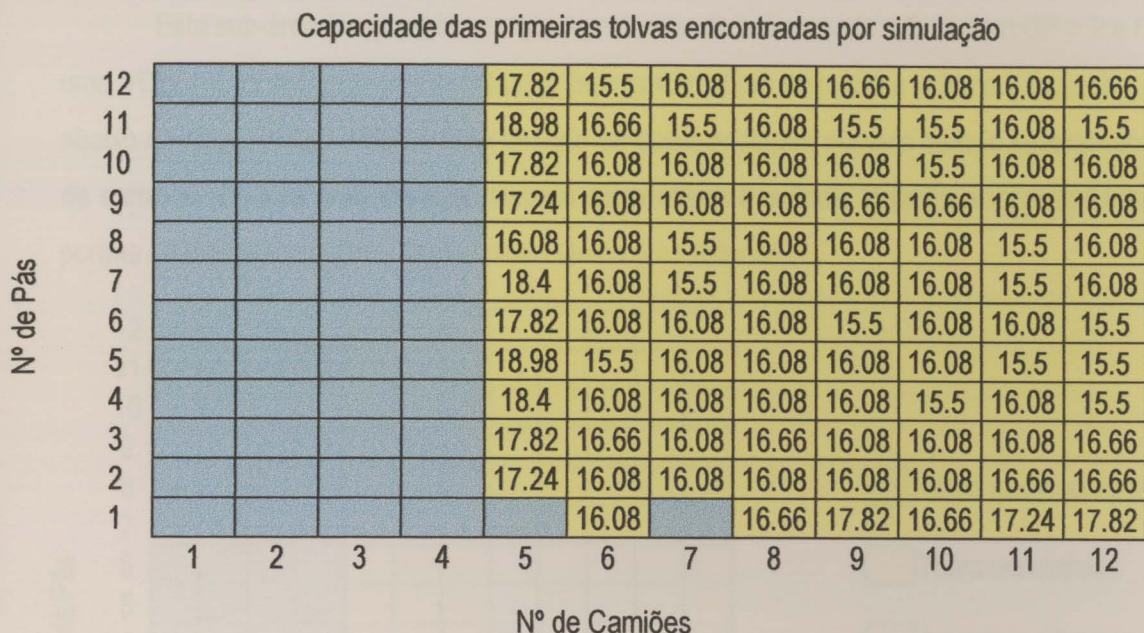


Fig. XI - 6

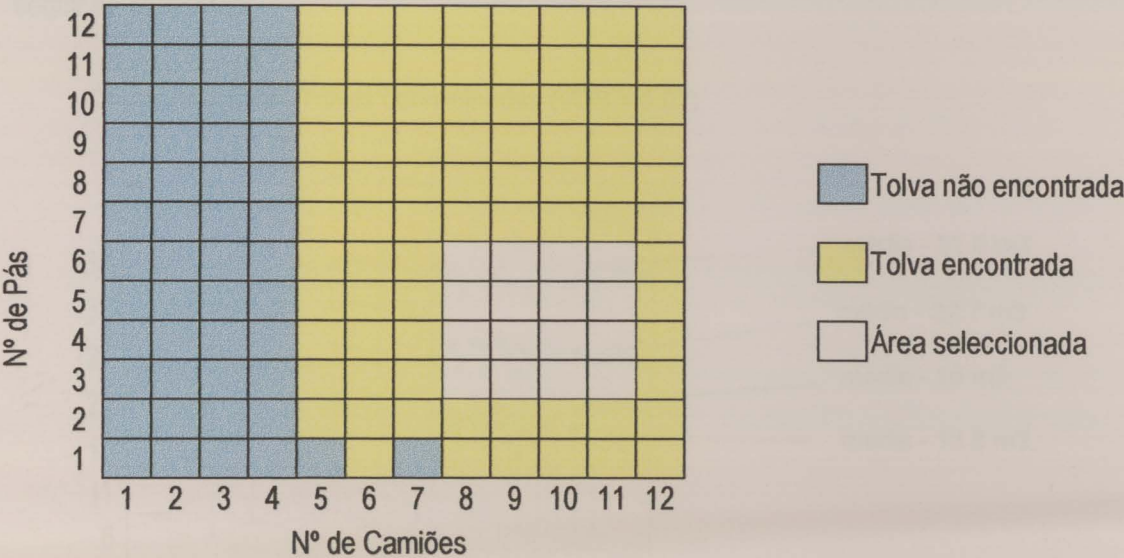
Começamos por notar que os valores das capacidades das tolvas encontradas não possuíam uma dispersão elevada, sendo a sua média da ordem dos 16.00 m³.

Estes resultados, embora casuísticos, levaram-nos, provisoriamente, a concluir que a dimensão da tolva encontrada não depende do tamanho da frota e que, em média, possui uma grandeza aproximadamente igual ao dobro da capacidade dos camiões usados para o transporte.

Juntemos à questão da regularidade do limite indicado mais duas interrogações: Que significado terá a localização da linha delimitante das duas áreas? O que acontece no sistema em estudo quando uma qualquer frota passa de 4 para 5 camiões, independentemente do número de pás carregadoras em uso?

Seleccionamos uma área restrita no mapa de frotas, dentro da área em que foram identificadas tolvas, com vista a, nas configurações a que ela diz respeito, analisar a capacidade das tolvas que o simulador escolhe fazendo variar, numa primeira fase, a capacidade das colheiras das pás carregadoras e das caixas dos camiões de transporte e, posteriormente, procedendo à repetição deste trabalho com outra velocidade de descarga da tolva - VBD.

Esta sub-área foi escolhida porque - pertencendo à área onde a frota com CP = 2 e CD = 8 e uma VDB = 0.05 m3/seg, por simulação determinou tolvas segundo o critério adoptado - se situa abaixo da diagonal que divide a área em que as frotas possuem número de pás superior ao número de camiões da área com situação inversa (esta última é a mais lógica); e, complementarmente, porque se insere numa zona central desta última área referida.



A principal razão que nos levou a realizar estudos só nesta zona restrita prende-se com o facto de, na altura, serem reduzidos os meios informáticos disponíveis e ser elevado o tempo necessário para realizar as simulações relativas a cada conjunto de 144 frotas.

Nesta área restrita, resolvemos analisar o comportamento do modelo para mais três situações diferentes da já testada (situação B):

VDB 0.05	Capacidade das Pás m ³	Capacidade dos Camiões m ³	Média de Capacidades das Tolvas encontradas m ³
A	1.5	6	13.8
B	2	8	16
C	3	12	22.7
D	4	16	31.5

Tabela XI - 1

Fizemos variar as capacidades das pás e dos camiões mantendo, no entanto, a relação 1:4 entre tamanhos dos volumes úteis destas máquinas. A nossa intenção foi controlar as alterações nos resultados em função de reduzidas modificações nos dados iniciais.

Os resultados, valores das capacidades médias das tolvas encontradas para cada configuração A, B, C e D, que constam da tabela anterior, são representados no gráfico 3D que a seguir se apresenta:

Capacidades das Tolvas determinadas (VDB = 0.07)

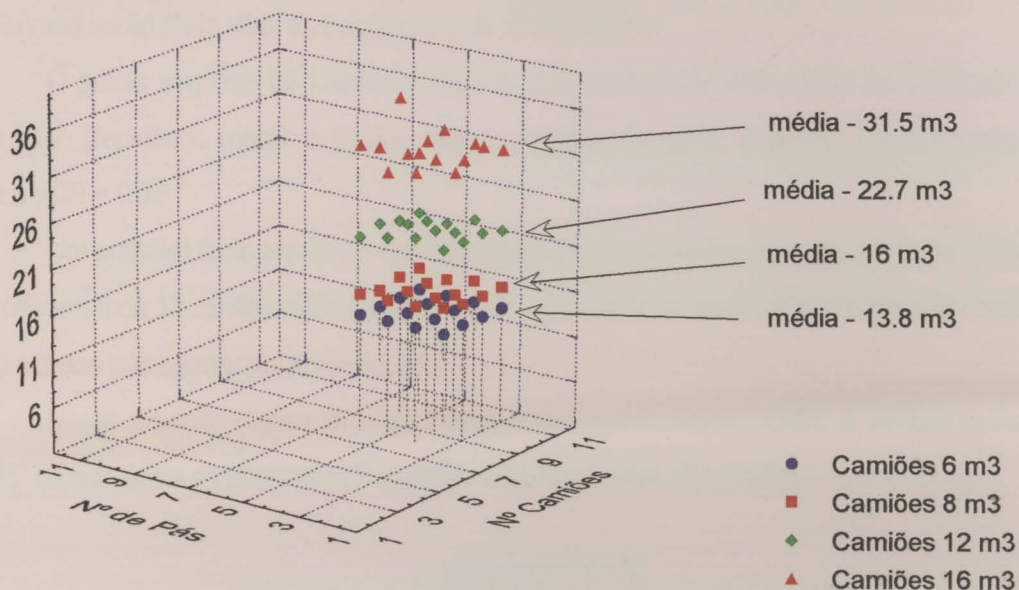


Fig. XI - 8

Deste gráfico podemos realçar:

- para todas as 16 frotas e para as quatro configurações testadas, foi detectada uma tolva que cumpriu o nosso critério de paragem
- o tamanho da tolva escolhida não depende do número de máquinas de carga e transporte, dado que os resultados do gráfico se apresentarem aproximadamente em “patamar”
- a regra anteriormente apontada, que casuisticamente mostrava que a capacidade das tolvas determinadas pelo algoritmo seria duas vezes a capacidade das caixas dos camiões de transporte, neste gráfico não é rejeitada, podendo mesmo ver reforçada a sua validade

- a dispersão dos valores dos diferentes “patamares” de capacidades de tolvas aumenta com o aumento da capacidade das máquinas circulantes.

Um outro factor influente no comportamento da tolva, e que até agora não foi alvo de alteração, é a velocidade de descarga da tolva. Esta pode ser considerada, regra geral, proporcional à capacidade do britador. É evidente que esta velocidade, quantificada em m³ saídos por unidade de tempo, vai condicionar o comportamento do histograma de frequências dos níveis do material no interior da tolva: se ela for reduzida, aumentarão as frequências de níveis altos de material e se ela for elevada serão mais altas as frequências de níveis baixos.

O passo seguinte foi promover alguma análise fazendo variar VDB de 0.05, por exemplo, para 0.07. Decidimos repetir a análise com as quatro situações, A-B-C-D, anteriormente testadas para a VDB = 0.05.

Um primeiro facto a reter, e que nos intrigou sobremaneira, foi a identificação de tolva só ter ocorrido em 8 da 16 configurações testadas, isto no caso A em que a capacidade dos camiões foi de 6 m³ e a das pás carregadoras de 1.5 m³.

Nesta situação (figura XI – 9), manteve-se uma fronteira regular e vertical entre as duas áreas, situada entre as frotas com 9 camiões e as frotas com 10 camiões.

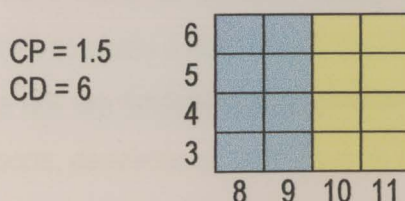


Fig. XI - 9

As experiências com configurações de capacidades de carga e transporte diferentes das anteriores, realizadas na área reduzida em observação, fizeram sucessivamente diminuir as determinações de tolva associadas a frotas. Esta diminuição foi acontecendo segundo uma espécie de diagonal desenhada pelo aumento progressivo mutuo de pás carregadoras e camiões.

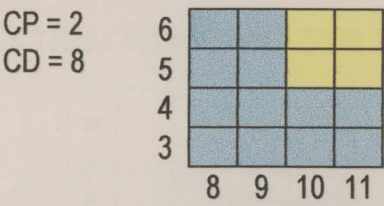


Fig. XI - 10

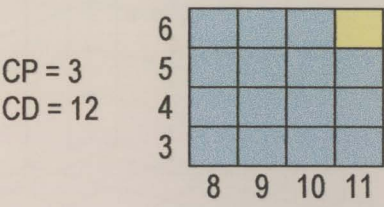


Fig. XI - 11

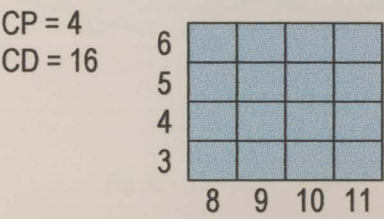


Fig. XI - 12

Nesta última configuração (figura XI – 12), em que as pás carregadoras possuem capacidade de balde de 4 m³ e os camiões caixas de carga de 16 m³, na área restrita em observação nenhuma frota conduziu à identificação de uma tolva que cumprisse o critério adoptado.

Mas como para nós era fundamental determinar médias de tolvas encontradas para várias frotas de carga e transporte, decidimos realizar algumas corridas, a que chamamos “soltas”, na zona mais a NE do mapa inicial (figura XI – 7). Isto foi realizado para as 4 configurações A, B, C e D, vindo o resultado desta pesquisa resumido no quadro e gráfico seguintes:

VDB 0.07	Capacidade das Pás m³	Capacidade dos Camiões m³	Média de Capacidades das Tolvas encontradas m³
A	1.5	6	15.35
B	2	8	18.96
C	3	12	26.01
D	4	16	33.13

Tabela XI - 2

Capacidades das Tolvas determinadas (VDB = 0.07)

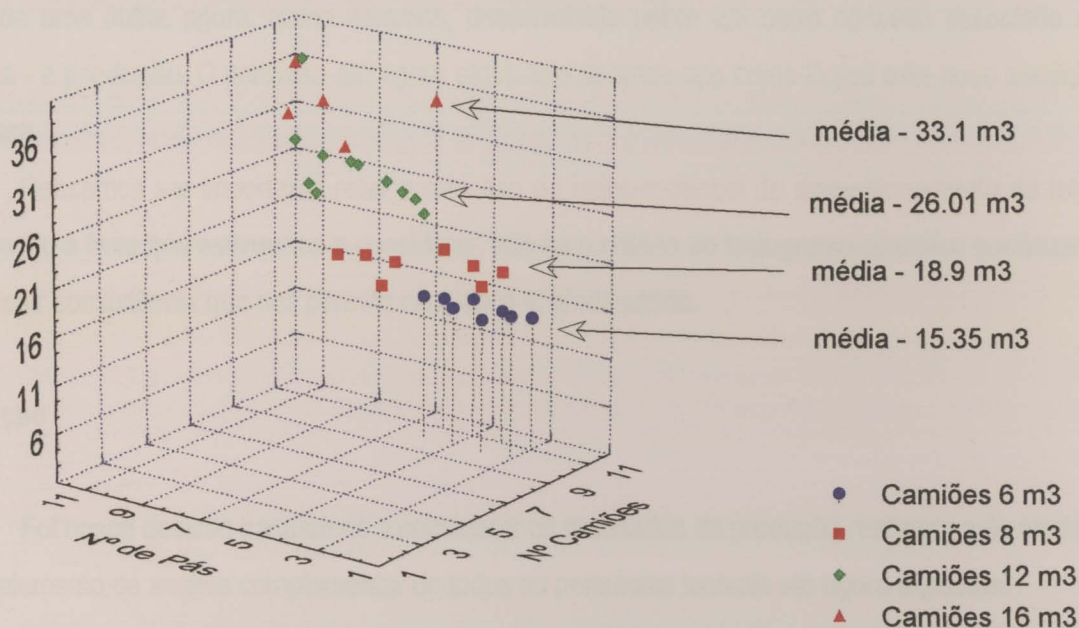


Fig. XI - 13

Constata-se que, de uma maneira geral, as dimensões das tolvas encontradas aumentaram ligeiramente, o que vem refutar a hipótese da regra “tolva com o dobro do tamanho da capacidade de carga das caixas dos camiões de transporte”.

Um outro facto a reter consiste na maior variabilidade, para cada configuração de capacidades das máquinas de carga e transporte, dos tamanhos de tolvas encontradas por cada frota. Para além deste aumento geral da dispersão dos valores da capacidade da tolva determinada, voltamos a obter, de entre os quatro casos estudados, um aumento desta dispersão à medida que testamos frotas com maior capacidade de carga. É nossa convicção de que, pelo facto de fazermos chegar maiores “golfadas” de material à tolva e também por aumentar a quantidade de material evacuado da tolva por unidade de tempo (passamos de uma situação de 0.05 m³/s para 0.07 m³/s), a oscilação de níveis, quer na fase de enchimento quer na fase de esvaziamento, é mais brusca. Tais acontecimentos poderão instabilizar a determinação de histogramas obedientes à regra da simetria adoptada.

Consideramos que este momento do trabalho marcou o fim de uma fase de investigação e o início de uma outra, agora, como veremos, desenvolvida sobre um outro conceito associado ao sistema - a **produção**. O percurso até agora efectuado apontou-nos como lógico este novo caminho de busca.

Pensamos ser importante reter o princípio da independência do dimensionamento da tolva em relação à frota que estivermos a considerar. Isto se o critério do histograma simétrico continuar a evidenciar consistência que nos permite considerá-lo ainda válido.

Produção

Foi nossa decisão passarmos a considerar os resultados da produção realizada pelo modelo como elemento de análise complementar de todas as peripécias factuais até agora expostas.

Como foi estabelecido no momento de construção do modelo, a produção do sistema é entendida como a quantidade média de material que passa no britador primário, durante um dia de trabalho. Naturalmente que este valor não é igual para todos os dias de actividade, variando, com maior ou menor dispersão, em torno de uma média.

O algoritmo, tal como está concebido, obriga a que a média das médias da produção por relevo estabilize segundo critérios já sumariamente discutidos em momento anterior.

Mas antes de realizarmos mais algumas incursões neste domínio particular do sistema e sobre os valores estabilizados, achamos por bem observar um histograma das diferentes produções diárias para uma frota retirada ao acaso e para uma das configurações já aqui analisada.

Escolheu-se o caso em que $NP = 4$, $ND = 7$ e em que $VDB = 0.05$, tendo as máquinas de carga e transporte 2 e 8 m³ de capacidade respectivamente.

O histograma (figura XI – 14) mostra-nos que esta frota possibilita produções que podem ir desde os 800 m³ aos 980 m³.

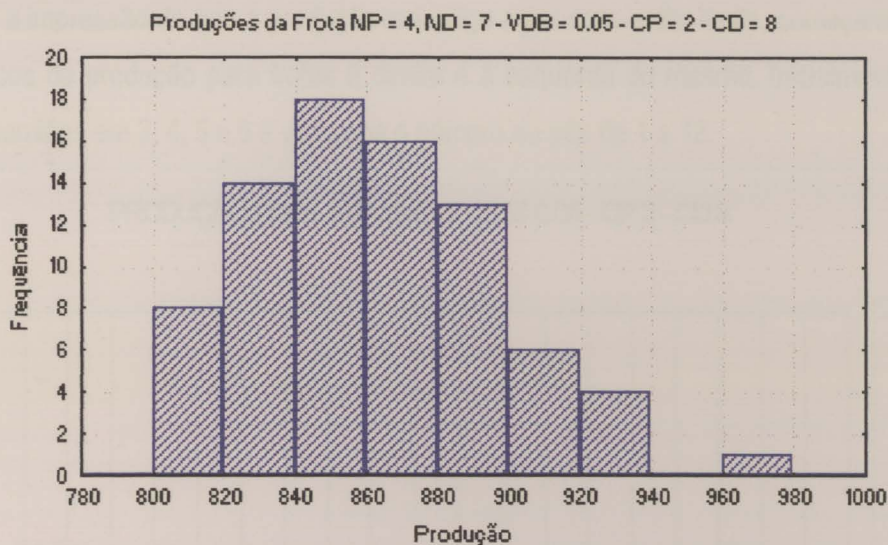


Fig. XI - 14

Tal facto necessita de ser analisado. Numa primeira abordagem, ele deve corresponder a um conceito associado aos índices de ocupação e operacionalidade da frota. Uma frota pode estar a ser melhor ou pior usada. Naturalmente, um melhor aproveitamento de uma frota corresponde a uma menor variabilidade nos tempos de tarefa, associados a médias situadas em valores altos, permitindo que essas tarefas se realizem em curtos intervalos de tempo. Por outro lado, a diminuição do ciclo efectivo de actividades, por diminuição dos tempos de inactividade resultantes de interferências entre as diversas componentes do sistema, vai originar também um melhor aproveitamento da frota.

Por momentos não avançaremos com mais ilações sobre este facto.

Neste caso, a moda desta frequência foi da ordem das 850 m3.

Será que existe alguma eventual correlação entre a produção e o limite entre as áreas dos mapas de frota anteriormente analisados? Este problema está por nós a ser colocado "a posteriori".

A resposta é: há.

Como chegamos lá?

Sob a impressão de que a produção teria algo a ver com o dito limite, começamos a realizar alguns gráficos da produção para frotas à direita e à esquerda do mesmo. Inicialmente fixamos o número de camiões em 3, 4, 5 e 6 e variamos o número de pás de 1 a 12.

PRODUÇÃO PARA 3 CAMIÕES - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

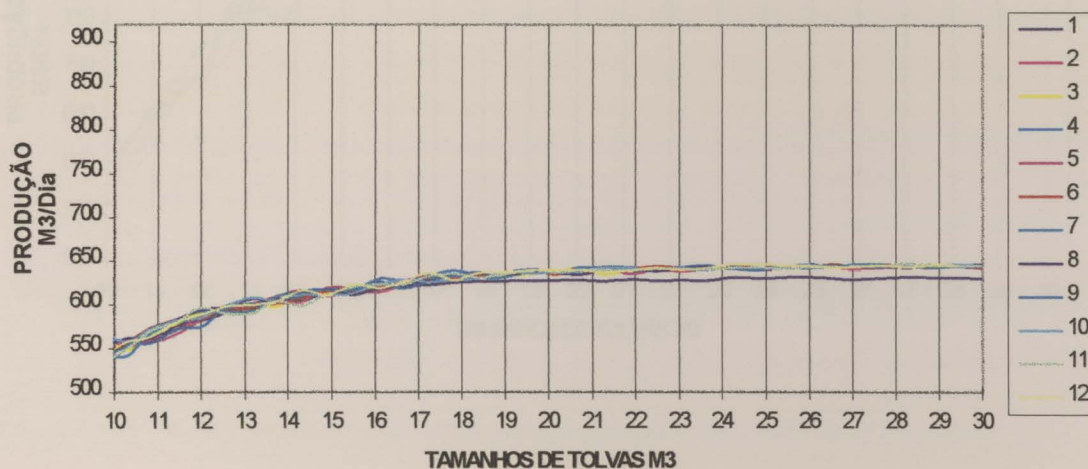


Fig. XI - 15

PRODUÇÃO PARA 4 CAMIÕES - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

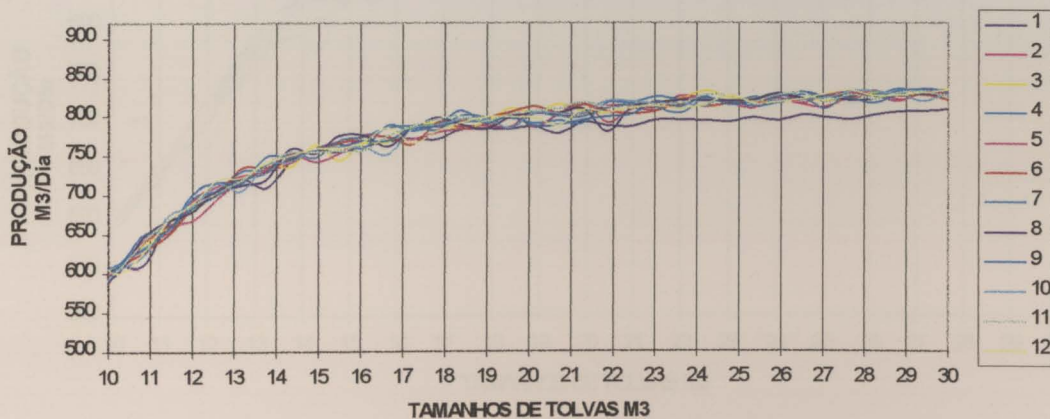


Fig. XI - 16

PRODUÇÃO PARA 5 CAMIÕES - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

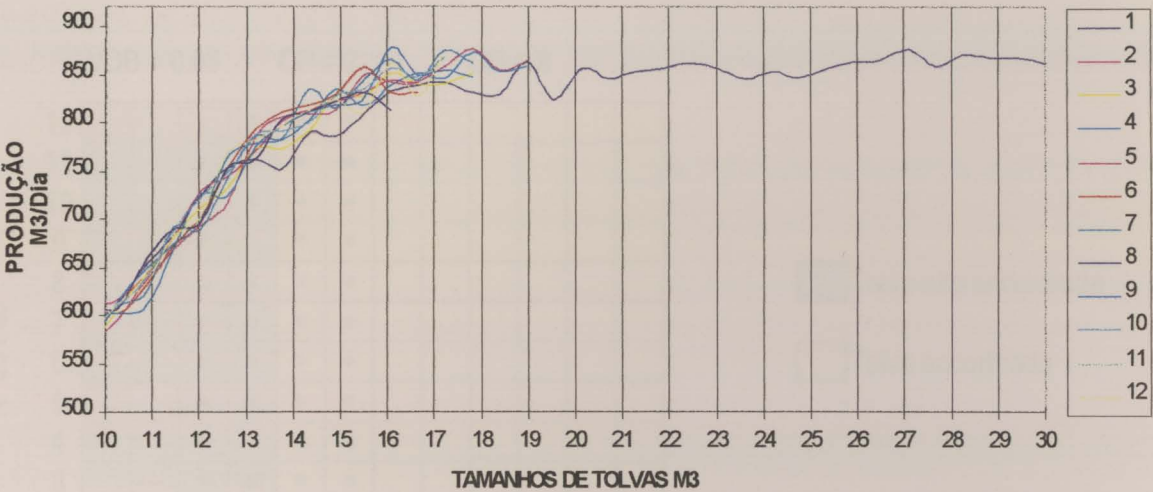


Fig. XI - 17

PRODUÇÃO PARA 6 CAMIÕES - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

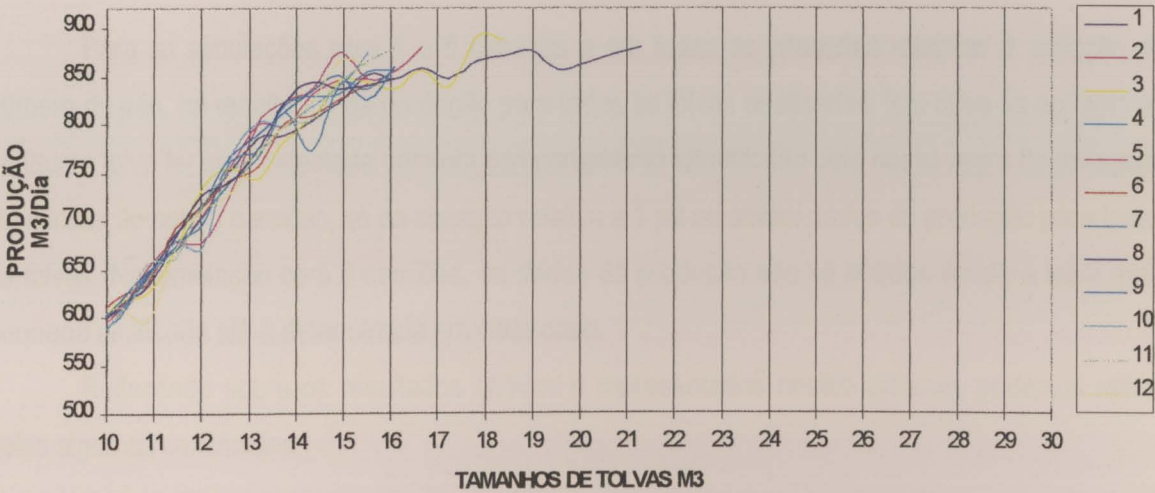


Fig. XI - 18

Antes de analisarmos os gráficos, algumas notas sobre o seu “aspecto”:

Os gráficos correspondem a quatro análises segundo as linhas verticais que se indicam no mapa de frotas:

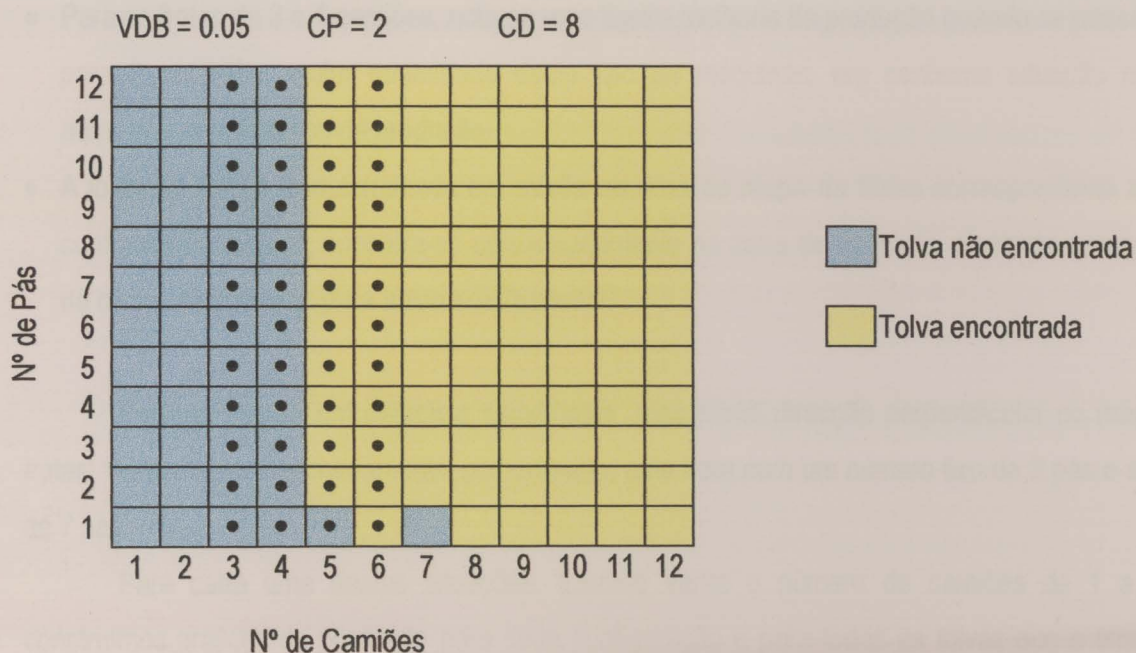


Fig. XI - 19

Para as simulações com 4 e 5 camiões e em todas as situações relativas à variação do número de pás, há resultados da produção para todas as tolvas analisadas. Isto deve-se ao facto de nenhuma tolva ter sido detectada com um comportamento identificado pela nossa regra de paragem. Na simulação com 5 camiões, só da situação relativa a 1 pá se obtém dados de produção para todas as tolvas. Na simulação com 6 camiões, os dados da produção são só obtidos desde a tolva mais pequena analisada até à determinada em cada caso.

Reflectindo sobre os resultados obtidos e representados nestes gráficos, podemos retirar deles algumas conclusões:

- Em todos os casos, com tolvas de tamanho sucessivamente maiores, a produção aumenta desde um mínimo até uma situação de estabilização em “patamar”. Mesmo no caso de uma frota com 6 camiões, a tendência para a estabilização da produção em “patamar” é visível.

- O valor da produção referido ao “patamar” cresce significativamente com o aumento da frota de camiões de 3 para 4, cresce menos quando a frota aumenta de 4 para 5 e com a entrada de mais um camião não se verifica qualquer melhoria no valor desta variável.
- Para as frotas de 3 e 4 camiões, nota-se uma ligeira melhoria da produção quando se passa de 1 para 2 pás. Mas maior quantidade deste tipo de máquinas, em nenhuma situação mostra aumentos significativos da produção.
- A tolva de 16 m³, a determinada em média na área do mapa de frotas correspondente a esta configuração testada, encontra-se aproximadamente na zona de transição do tramo ascendente da curva de produção para a zona de “patamar”.

Façamos agora um exercício semelhante, mas numa direcção perpendicular no mapa de frotas. Consideremos primeiramente, por exemplo, uma frota com um número fixo de 2 pás e depois de 7 pás.

Para cada uma destas situações, fizemos variar o número de camiões de 1 a 9, e construímos gráficos de produção para cada configuração e para todas as tolvas que o algoritmo testou:

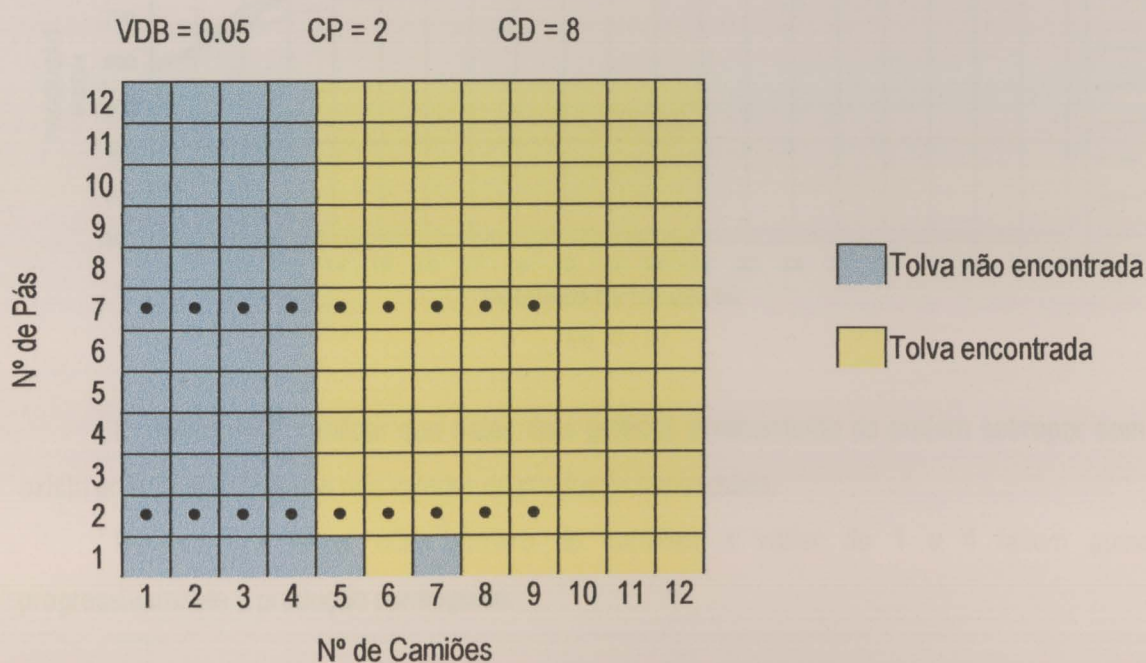


Fig. XI - 20

Mais uma vez devemos estar atentos, porque os gráficos de produção correspondentes à área do mapa em que a simulação detectou tolvas segundo o nosso critério hipotético só terão informação relativa às tolvas menores ou iguais a essa detectada.

PRODUÇÃO PARA 2 PÁS - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

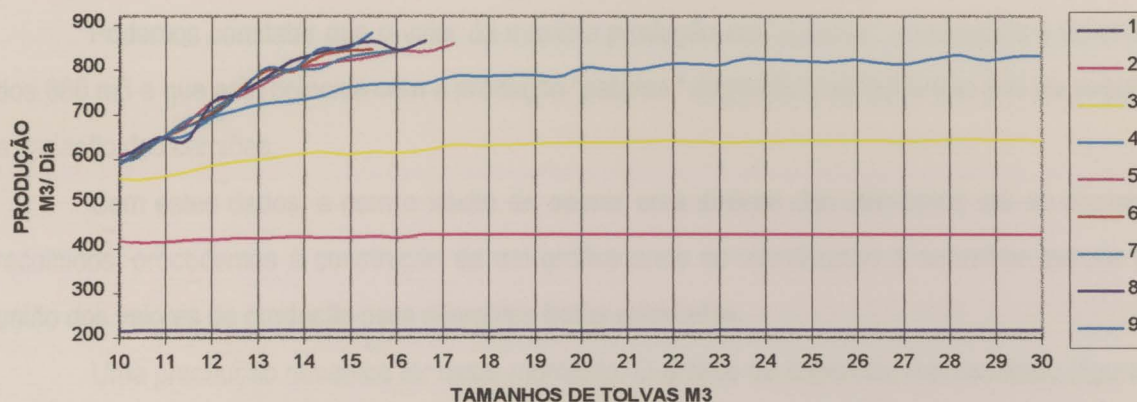


Fig. XI - 21

PRODUÇÃO PARA 7 PÁS - VDB 0.05 - CP 2 - CD 8

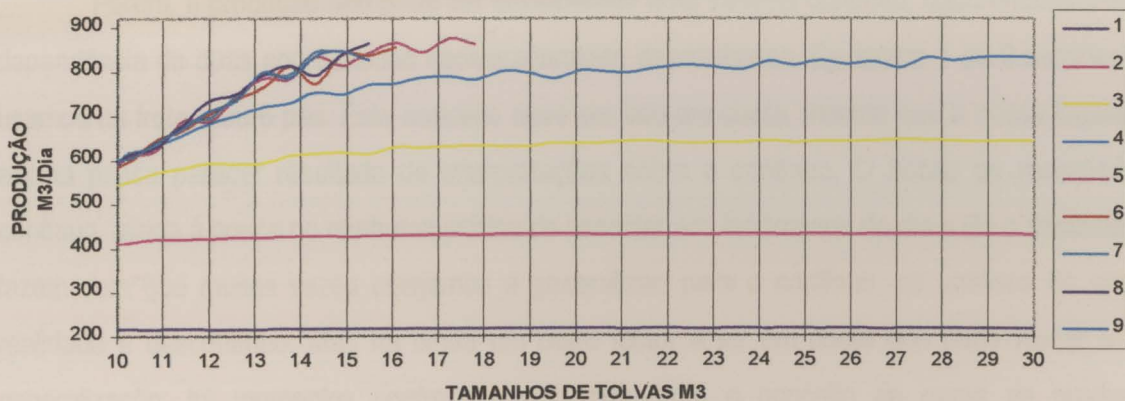


Fig. XI - 22

É interessante verificar que estes dois gráficos praticamente se podem sobrepor sem que exista grande discrepância nos valores da produção conseguida.

Nota-se que frotas com número de camiões a variar de 1 a 4 fazem aumentar progressivamente a produção conseguida.

A tendência para estabilizar a produção em “patamar” com o aumento da capacidade das tolvas testadas continua a ser um facto.

Frotas com 1 ou 2 camiões praticamente possuem produções mais ou menos constantes, invariantes com o tamanho da tolva, somente aparecendo alguma dependência quando o número da camiões é superior.

Podemos constatar que o valor da máxima produção em “patamar” conseguida é da ordem dos 880 m3 e que esta coincide com a produção “patamar” segundo a variação das pás ou segundo a variação dos camiões.

Com estes dados, e com o intuito de operar uma síntese dos elementos até ao momento recolhidos, procedemos à construção de um gráfico onde se visualizasse a superfície gerada por união dos valores de produção para diferentes frotas estudadas.

Uma precaução devemos ter neste momento. O gráfico de superfície representado (figura XI – 23) construiu-se à custa de inúmeras interpolações, segundo métodos padronizados, e dá uma ideia de continuidade para esta variável em função das duas variáveis representadas nos eixos horizontais - número de pás e número de camiões.

Porém, a produção não pode ser considerada uma variável contínua, dado encontrar-se na dependência de duas coordenadas necessariamente descontínuas. Ou temos 1 ou 2 camiões. Ou usamos na frota 5 ou 6 pás. Este conceito deve ser tido em conta, mesmo que a nossa linguagem escrita possa parecer resultado de interpretações sobre o contínuo. O hábito de raciocinar no contínuo, aliada à pouca ou nenhuma prática de associar aos fenómenos do dia a dia o descontínuo, fazem com que muitas vezes estejamos a generalizar, para o contínuo, as análises do que na realidade é descontínuo. Mas há ainda um outro factor a ter em conta que pode ajudar a esta generalização: há momentos confrontamos o leitor com o conceito de gama de produções associadas a uma frota. A gama de produções conseguidas com uma determinada frota pode originar sobreposições dos valores da produção com os das produções conseguidas pelas frotas que lhe estão próximo no mapa de frotas. Esta sobreposição - dependente do índice de utilização das máquinas envolvidas e, implicitamente, da grandeza do ciclo efectivo de actividade da frota de camiões - pode também “empurrar-nos” para raciocinar mais em termos do contínuo do que do descontínuo.

Concluindo, no nosso entender, por estarmos à partida alertados para as ressalvas expostas, não será muito grave realizarmos análises sobre representações contínuas, sempre que estas se afigurarem úteis.

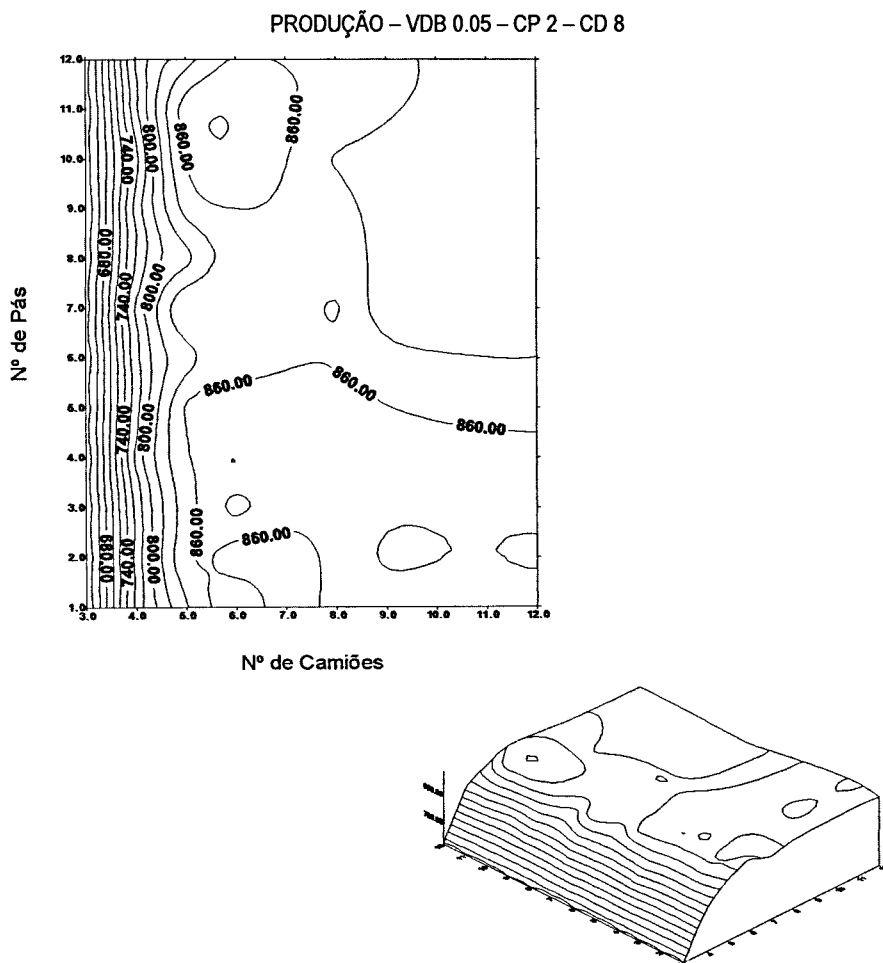


Fig. XI - 23

O gráfico (figura XI – 23) mostra claramente uma relação estreita, em termos de áreas, com as áreas definidas anteriormente no mapa de frotas.

A área em que o algoritmo não detectava nenhuma tolva, segundo o critério adoptado, corresponde à área em que as linhas de isoprodução são invariantes só com o número de pás e a

área em que o algoritmo detectava tolva corresponde à zona de “patamar”, zona de invariância da produção com a variação da frota.

A transição entre estas duas áreas, o limite entre elas, está claramente sobreposto à linha de separação entre frotas com 4 e 5 camiões. E aqui começamos a pressentir algum realismo entre o que empiricamente está (quando está), mais ou menos, adoptado como critério de dimensionamento das tolvas e o critério por nós implementado sobre o modelo construído.

No caso estudado, vemos que a produção tem possibilidade de aumentar sempre que se aumenta o número de camiões até um máximo de 5. Porém, aumentar a frota para mais do que 5 máquinas de transporte não acarreta nenhum aumento significativo da produção realizada. Ainda neste caso, fica claro que o uso de mais do que uma pá não faz ocorrer melhorias na produção do sistema. Pode perguntar-se o porquê deste limite na produção. É importante não esquecer que o modelo que tem servido de base ao nosso estudo contempla a existência de uma tolva que, por meio de uma capacidade fixa que lhe é atribuída e através de uma velocidade de descarga, também ela fixa, funciona como um constrangimento à possibilidade de um aumento indiscriminado da produção com o aumento da frota ao contrário do que acontecia no modelo de Miranda. Daí ser de supor a existência de limites para a produção independentes da frota.

Foi este último facto que nos levou a pesquisar outras configurações com diferentes capacidades de caixa de carga e transporte, bem como várias velocidades de descarga unitária da tolva, com o intuito de identificar o comportamento daquele limite com estas variações.

Centramos a nossa atenção sobre o limite / fronteira entre as duas áreas do mapa de frotas.

Os contornos do “patamar” dos valores máximos da produção

Prosseguimos com o objectivo observar o que acontece ao referido limite e à geometria do mapa de produções, agora para $VDB = 0.05 \text{ m}^3$, $CP = 3 \text{ m}^3$ e $CD = 12 \text{ m}^3$, configuração já simulada mas sobre a qual só nos tínhamos detido com o valor médio das capacidades das tolvas encontradas.

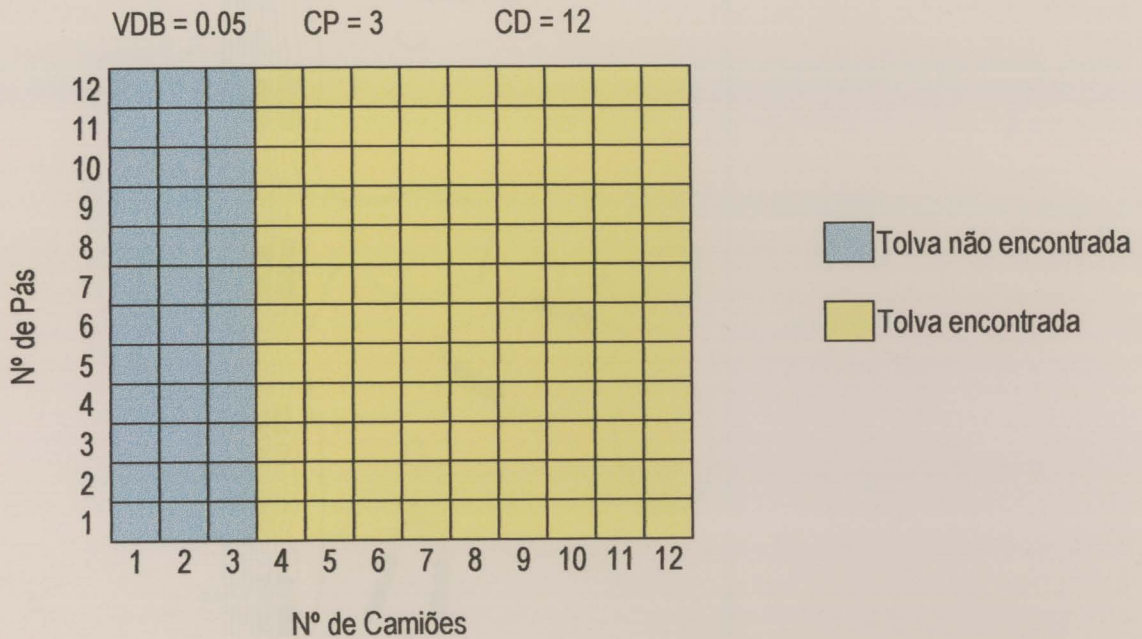


Fig. XI - 24

A média das tolvas encontradas, média essa que como vimos corresponde à média de um conjunto de soluções com pequena dispersão, é da ordem de 22 m³.

Como vemos, o limite continua a ser de uma regularidade extrema.

Concluimos que um aumento dos volumes geométricos de carga e transporte das unidades circulantes faz recuar o limite de transição entre as duas áreas em questão para valores inferiores do número de camiões (maiores cargas unitárias em movimento significam frotas com efectivos mais reduzidos).

O mapa da produção respectivo, construído à custa de resultados correspondentes a simulações de um sistema com uma tolva de tamanho equivalente à tolva média encontrada, apresenta-se na página seguinte (figura XI – 25):

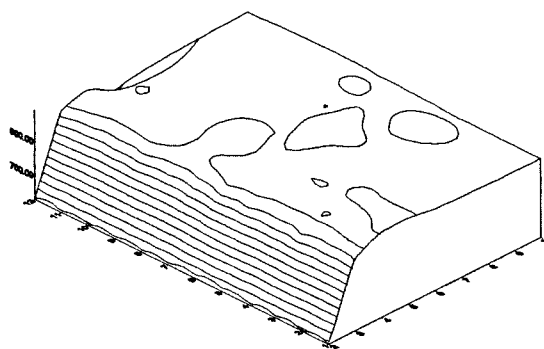
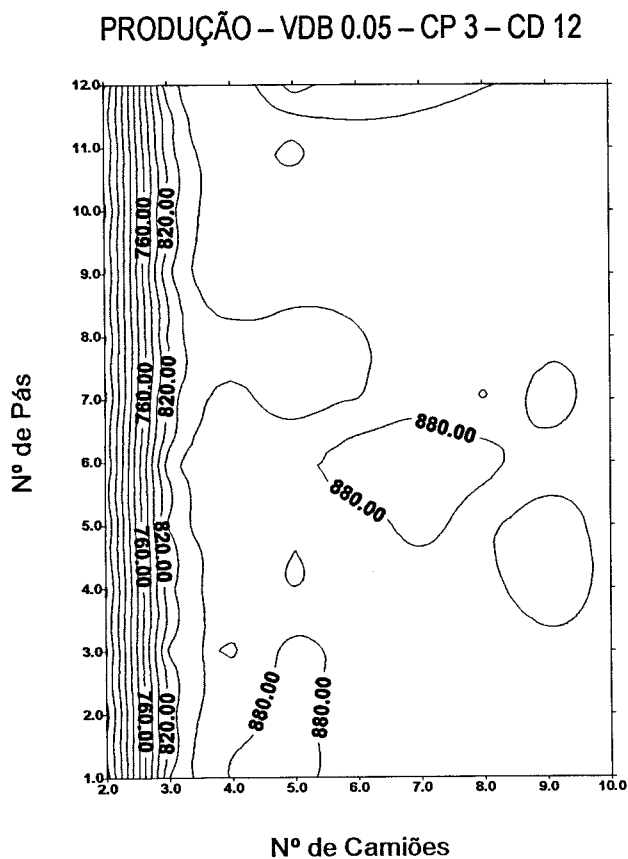


Fig. XI - 25

Vemos que a existência de um "patamar" de produções continua a ser um facto e que a área do mapa de frotas correspondente ao "patamar" se relaciona com a área do mapa de frotas em que se encontrou tolva. O que foi concluído no caso anterior aplica-se neste caso. A produção média deste "patamar" é ligeiramente abaixo dos 900 m³/relevo. Parece, o que tem alguma lógica, que

aumentar a capacidade de carga e transporte (por recurso a maiores volumes da colher e caixas das máquinas) permite atingir a produção “patamar” à custa de frotas mais reduzidas e ao mesmo tempo, pelo facto de termos identificado uma tolva média diferente, deslocar esse valor máximo de produção para um nível superior.

Façamos um raciocínio análogo, agora para uma configuração em que a capacidade das pás se situa em 1 m³ e a dos camiões em 4 m³. Continuamos a manter no valor 4 a relação entre estas duas grandezas e também o valor da velocidade de descarga da tolva em 0.05 m³/seg.

Vejamos os resultados:

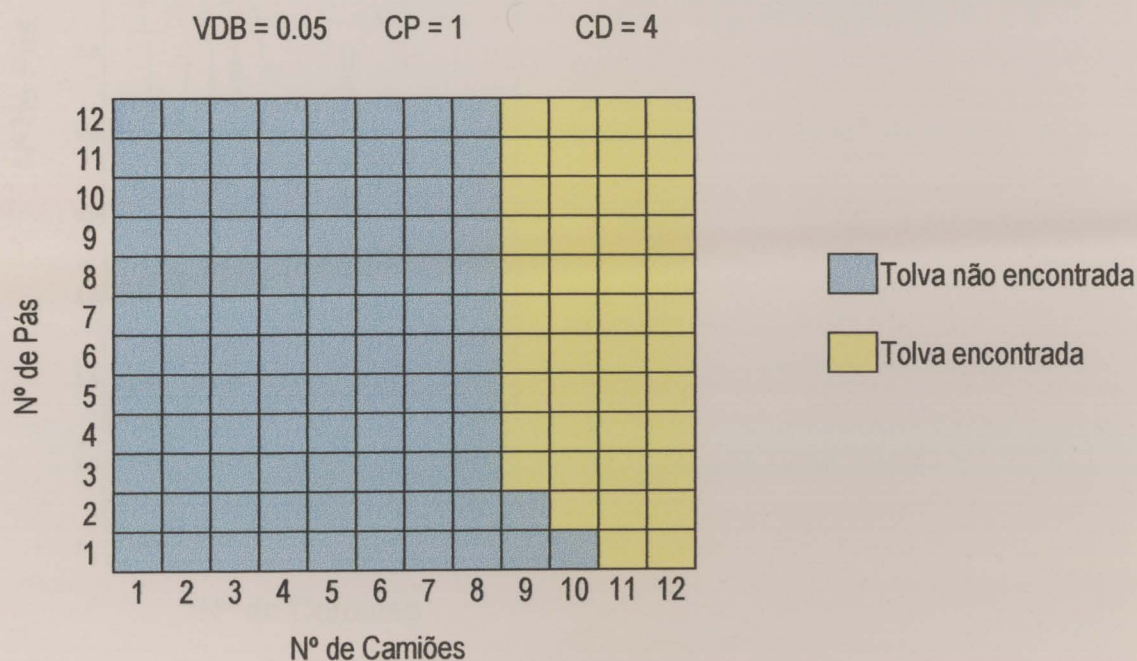


Fig. XI - 26

Observemos o correspondente mapa de produções (figura XI – 27):

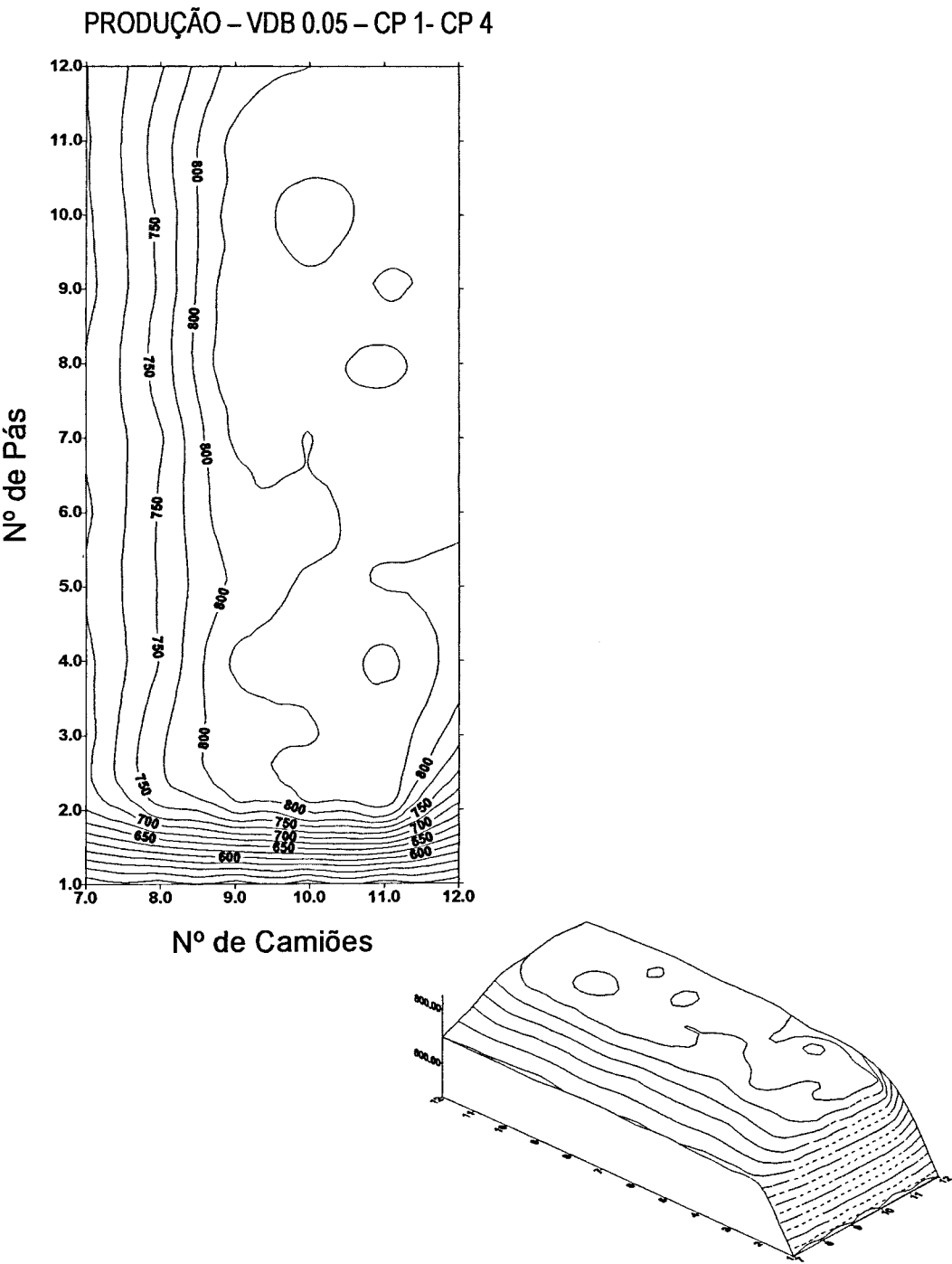


Fig. XI - 27

Este exemplo foi seleccionado considerando uma tolva de dimensões equivalentes, como temos vindo a fazer, à média das dimensões das tolvas determinadas – aproximadamente 10 m³.

Começa-se a esboçar um comportamento dos sistema que nos mostra linhas de isoprodução paralelas não só a um dos eixos coordenados, mas com uma dupla linearidade. Passa a ser possível um aumento significativo da produção se se adicionar mais uma unidade de carga a uma frota só com uma pá.

Neste exemplo, o limite de transição para o “patamar” de produções estabelece-se ao longo da linha de configurações em que os camiões passam de 8 para 9, e para os casos de frotas com número de camiões superiores a 9, na passagem de 2 para 3 pás.

A produção média deste “patamar” é da ordem dos 870 m³. O valor máximo de produção baixou e esse valor é atingido com frotas de dimensão elevada (comparando com os resultados anteriores).

Como uma das conclusões síntese desta análise, devemos realçar alguma coerência de resultados. Mantendo a velocidade de descarga da tolva, por outras palavras, sendo fixa a quantidade de material esvaziado da tolva, em média, por unidade de tempo, as produções máximas atingidas por cada configuração são realizadas com frotas mínimas, de reduzido efectivo em unidades móveis, se as suas capacidades são grandes e vice versa se essas capacidades são pequenas.

Começamos a detectar uma possível explicação para o facto que nos intrigava quando analisávamos uma pequena área, correspondente a 16 frotas, e várias configurações de capacidades de caixas de carga e transporte ($VDB = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$). A evolução sucessiva do limite entre as duas áreas que nos têm vindo a ocupar, “migrava”, fazendo uma analogia geográfica, de SW para NE. Essa ripagem parece prender-se com a evolução dos limites do “patamar” de produção em função das características de configuração da frota.

Foi na tentativa de interpretação do comportamento da migração referida que encetamos um período de pesquisa, implementando diversas campanhas de simulações, que achamos fastidioso expor exaustivamente no âmbito deste trabalho.

A questão foi formulada nos seguintes termos: o que ocorrerá aos resultados que temos vindo a obter se o outro factor influente no nível de material da tolva - VDB - variar, mantendo-se fixas as capacidades das caixas das pás carregadoras e camiões?

Depois de diversas divagações, com muitas horas acumuladas de cadeias de "corridas" em computador, chegamos a um conjunto reduzido de exemplos que nos serviram para, sobre eles, proceder à análise que vamos passar a expôr.

Ainda antes dessa exposição, permita-nos o leitor um pequeno aparte: os valores de CP e CD que vamos manter fixos nesta fase do trabalho, respectivamente 0.75 m³ e 6 m³, para além de não respeitarem a relação entre eles anteriormente usada, são pouco frequentes nas unidades industriais. Eles foram por nós estrategicamente escolhidos, mais por questões didácticas de exposição. Esta configuração possibilita uma abordagem clara de vários conceitos que pensámos poderem ser considerados com algum carácter geral e possivelmente extrapoláveis para configurações industrialmente usadas.

Vejamos três exemplos para casos em que se fixa a capacidade das máquinas e se faz variar a velocidade de descarga da tolva, VDB.

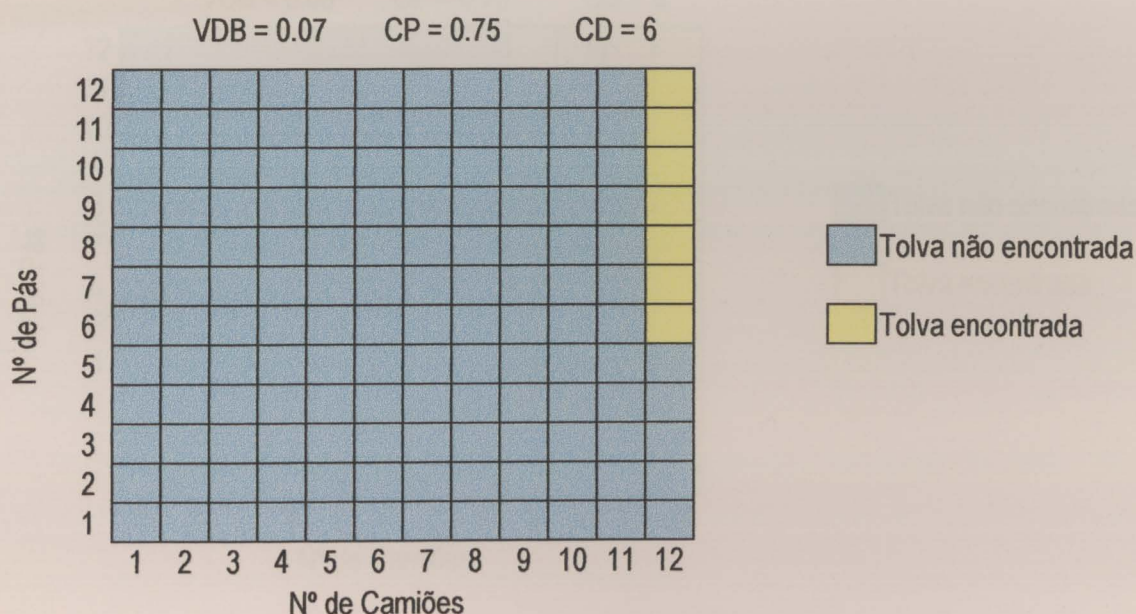


Fig. XI - 28

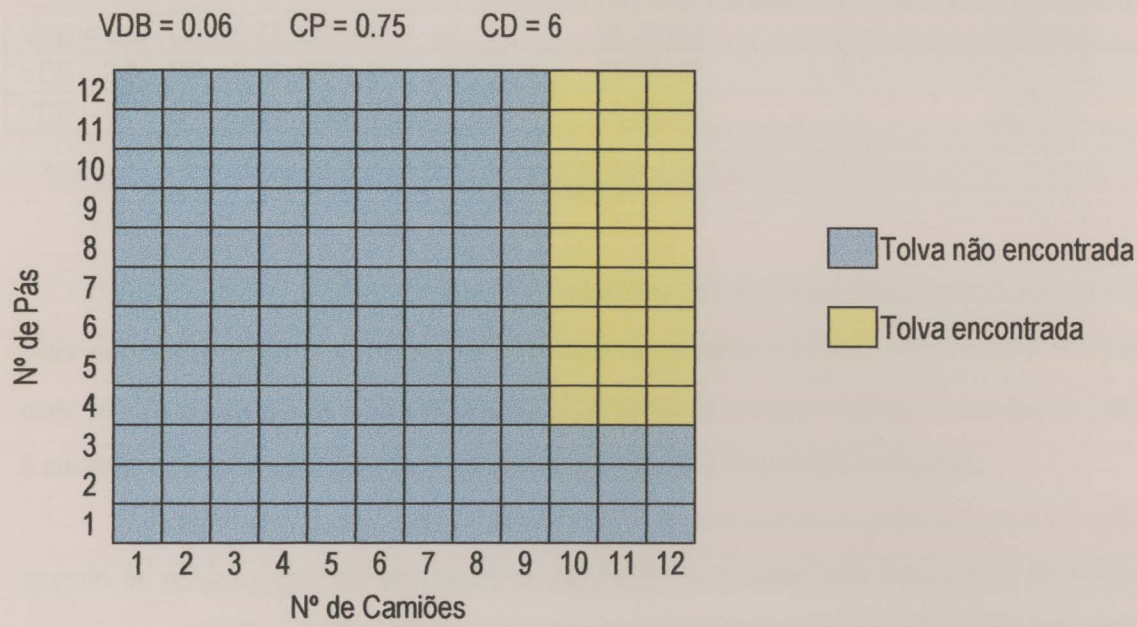


Fig. XI - 29

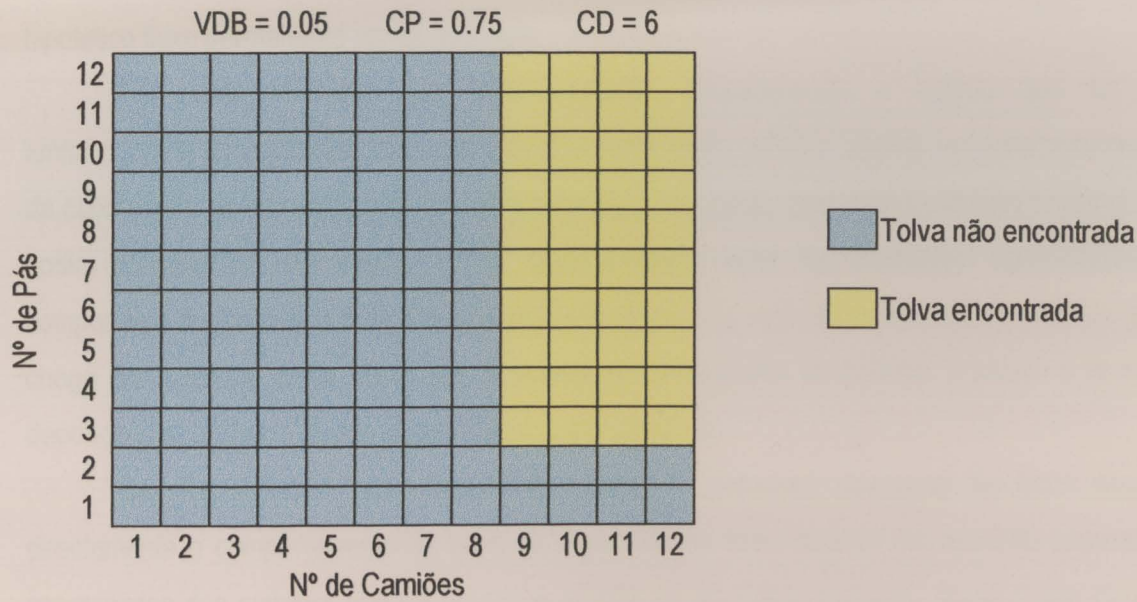


Fig. XI - 30

	Tolva média determinada	Produção “patamar” média
VDB = 0.07 CP = 0.75 CD = 6	18.32 m3	1210 m3
VDB = 0.06 CP = 0.75 CD = 6	16.08 m3	1037 m3
VDB = 0.05 CP = 0.75 CD = 6	14.23 m3	850 m3

Tabela XI - 3

Nestes casos, verificamos que se a velocidade de descarga da tolva aumenta, aumenta o valor máximo de produção, à custa de uma tolva de tamanho elevado e por recurso a frotas com cada vez maior número de unidades. Baixar VDB ocasiona um abaixamento da produção “patamar” à custa de uma tolva determinada mais pequena e de uma frota menos numerosa.

É de referir que as produções “patamar” são de uma ordem de grandeza inferior à calculada quando se realiza o produto do caudal de descarga do britador pelo tempo total de relevo. Por exemplo, para VDB = 0.07, a produção ao fim de 25200 segundos seria de 1764 m3, caso não acontecessem interrupções no fluxo de material através do britador. Como contemplamos a existência de regimes de funcionamento e encravamento do britador e também porque há um carácter aleatório nas actividades de carga e transporte (sendo elas fortemente descontínuas) esse hipotético fluxo permanente nunca acontece.

Foi neste momento que, definitivamente, abandonámos o critério que de início tentativamente esboçáramos, segundo o qual, a capacidade da tolva deveria ser da ordem do dobro da capacidade da caixa dos camiões de transporte. Com efeito, este critério se bem analisado, não podia constituir-se em regra, como demonstrámos com os exemplos apresentados. O comportamento da tolva está na dependência simultânea dos regimes de entrada de material que lhe chega por camiões e de saída por descarga do alimentador do britador primário e nunca na dependência exclusiva de um ou outro destes dois regimes.

Se nos situarmos no conceito de produção “patamar”, deixamos de fazer depender directamente o comportamento da tolva da dimensão da frota, ficando ele somente amarrado às capacidades dos camiões que lhe afluem e à VDB. E, no nosso entender, assim é que deve ser. Uma tolva deve ser dimensionada para que garanta a possibilidade da máxima produção que a britagem permite absorver e que a frota possa transportar.

Aumento da produção por aumento da frota

Os resultados até agora apresentados permitem-nos, de certa forma, manter alguma confiança na hipótese por nós levantada no passado para característica de uma tolva bem dimensionada. No entanto, prometemos nos próximos parágrafos voltar a envolver-nos na fundamentação deste critério, sempre na tentativa popperiana de o refutar.

Não deixamos de reforçar a ideia de que a hipótese levantada tem vindo a sustentar uma pesquisa geral que nos tem permitido abordar vários conceitos associados a estes sistemas e que são de vital importância para entendermos o *objecto* de que partimos.

Novamente por questões didácticas, centremos a nossa atenção numa das configurações já estudadas, nomeadamente a configuração em que $CP = 0.75 \text{ m}^3$, $CD = 6 \text{ m}^3$ e $VDB = 0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Como é possível já deduzir, o valor máximo de produção desta configuração será atingido com frotas em que o número de pás seja superior a 3 e o número de camiões nunca inferior a 9. Esta afirmação só será verdadeira se (e é o que sempre aconteceu em todas as deambulações que realizamos pelas diversas configurações trabalhadas) o gráfico de produção fizer corresponder à área amarela do mapa de frotas respectivo, um “planalto” (novamente uma analogia vinda da topografia) mais ou menos regular. Vamos verificar a afirmação. Para este fim construímos um mapa de linhas de isoprodução na dependência das diferentes frotas testadas bem como uma representação tridimensional desse mapa (figura XI – 31):

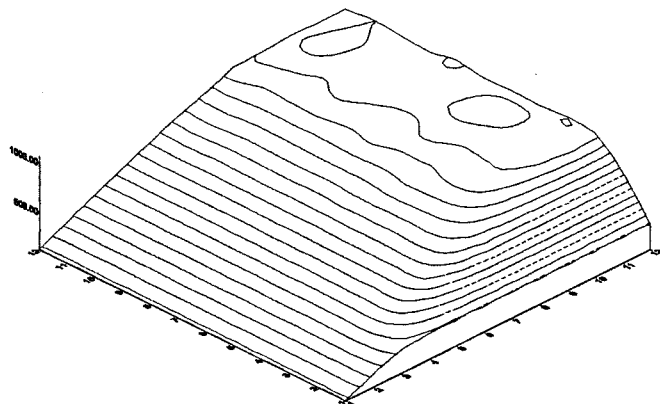
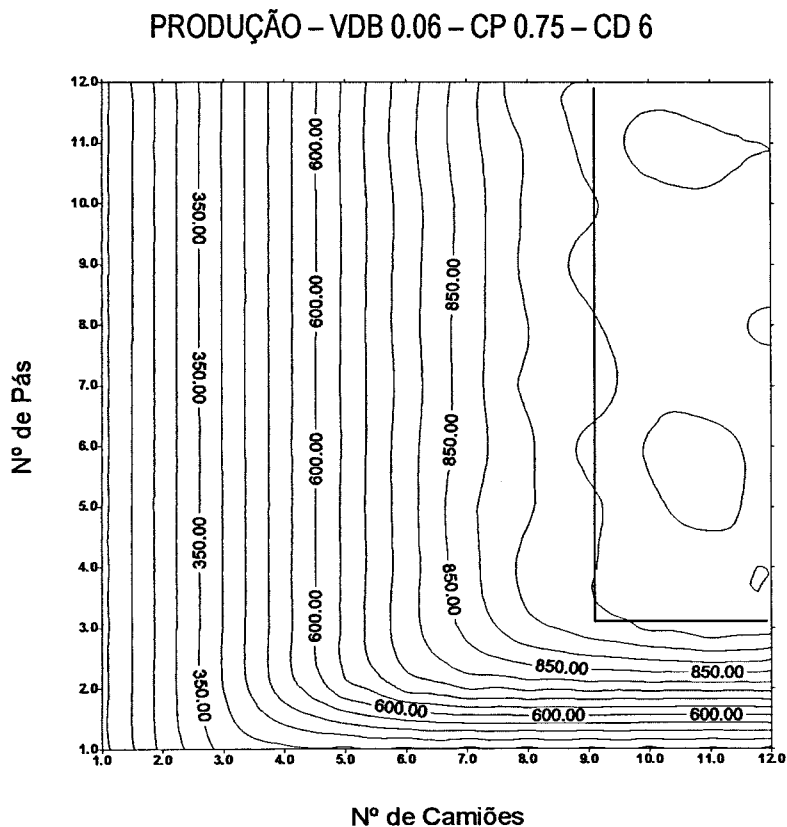


Fig. XI - 31

O “planalto” correspondente ao valor máximo de produção coincide com a área do mapa de frotas em que foi detectada tolva através do critério adoptado.

Uma pequena confirmação

Antes de prosseguir com ilações oriundas deste mapa, façamos ainda uma confirmação, para sossegar mais um pouco a nossa consciência, quanto ao critério de dimensionamento da tolva. Será que a tolva média determinada é a que garante a máxima produção desta configuração? Haverá mais alguma forma, para além dos indícios já encontrados, de testarmos esta hipótese?

E resolvemos mexer um pouco no algoritmo, nomeadamente, retirando o critério de paragem para que nenhuma tolva seja identificada e se simulem resultados para tolvas de capacidade abaixo e acima da tolva determinada nas simulações anteriores. Seleccionamos 7 tolvas com capacidades em torno da capacidade determinada (16.08):

12.6 13.76 14.92 16.08 17.24 18.4 19.56

Realizadas novas simulações, colocamos em gráfico, para cada uma das 7 tolvas, as médias das produções das frotas correspondentes ao “patamar” de produções anteriormente determinado (pás a variar de 4 a 12 unidades e camiões a variar de 10 a 12 unidades). Com esta tarefa pretendemos, sem constrições, verificar se o valor máximo de produção é atingido com a tolva eleita, ou não.

O resultado foi o seguinte:

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
12,6	12	954,95	942,4	946,31
	11	951,73	938,33	954,18
	10	963,01	947,81	953,61
	9	947,28	939,92	941,94
	8	936,94	955,88	960,89
	7	948,75	944,26	931,8
	6	957,68	965,83	961,32
	5	938,2	955,67	942,84
	4	946,98	955,29	939,09
Camiões →		10	11	12
		Média = 948,995		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
13,76	12	980,8	1006,1	1010,3
	11	987,62	986,76	1007,2
	10	985,7	1013,9	996,62
	9	988,66	1012,2	1005,2
	8	995,16	998,79	993,64
	7	990,95	1008,7	998,91
	6	987,79	991,28	1012,5
	5	983,86	1002	1003,4
	4	993,57	1002,3	1004,3
Camiões →		10	11	12
		Média = 998,077		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
14,92	12	1018,4	1008,8	992,56
	11	1007	1023,9	1020,9
	10	1015,2	1022,6	1019,1
	9	1017,3	1015,9	1039,4
	8	1010,2	1025,5	1016,5
	7	1014	1026,3	1014,9
	6	1013,9	1003,2	1001,8
	5	1015,3	1026,3	1006,5
	4	1012,9	1014,7	1013,8
Camiões→		10	11	12
		Média = 1015,44		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
16,08	12	1024,8	1011,5	1018,7
	11	1080,9	1058,6	1052,2
	10	1027,5	1043,9	1024,8
	9	1002,6	1028,3	1009,1
	8	1036	1034,8	1067,3
	7	1042,6	1025,1	1018
	6	1054,9	1068	1033,8
	5	1040	1068,8	1024,6
	4	1025,7	1019	1050,7
Camiões→		10	11	12
		Média = 1036,75		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
17,24	12	1027	1025,8	1036,7
	11	1028,4	1033,8	1023,2
	10	1017,9	1009,3	1047,3
	9	1035,9	1048,6	1045,2
	8	1030,7	1040	1038,7
	7	1030,1	1033,6	1015,7
	6	1038,9	1039,4	1046,3
	5	1028,1	1027,2	1037,5
	4	1025,9	1036,3	1052
Camiões→		10	11	12
		Média = 1033,31		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
18,4	12	1068,5	1029,2	1045,6
	11	1028,7	1020,5	1022,4
	10	1027,6	1039,2	1051,5
	9	1032,5	1023,8	1036
	8	1034,4	1061,2	1019,5
	7	1035,3	1045,1	1028,1
	6	1023,2	1022,5	1024,3
	5	1023,8	1030,4	1043,5
	4	1024,3	1044,2	1036,4
Camiões→		10	11	12
		Média = 1034,14		

Tolva	Pás	Produções	Produções	Produções
19,56	12	1040,6	1035,9	1035,5
	11	1029,9	1039,6	1046
	10	1039,1	1048,6	1042,3
	9	1032,7	1023	1036,5
	8	1041,5	1027,6	1034,5
	7	1026,4	1034,7	1042,6
	6	1028,5	1028,3	1029,3
	5	1034,1	1041,6	1047,5
	4	1034,4	1018,1	1036,9
Camiões→		10	11	12
		Média = 1035,40		

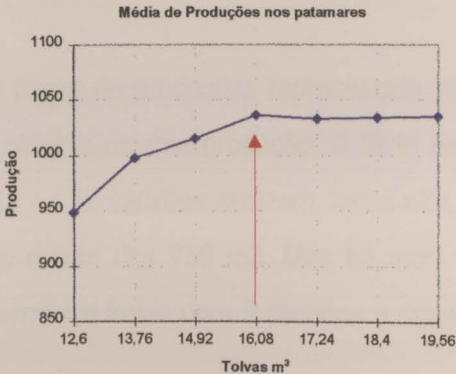


Fig. XI - 32

A tolva assinalada com a seta vermelha é a determinada quando se implementou o critério de paragem da simulação. De facto ela é a que permite obter a máxima produção expectável com pás e camiões com as características impostas e com um regime de descarga de material para o britador de 0.06 m³/seg. Tolvas com dimensão superior não permitem melhorias na produção diária realizada. Tolvas menores, ainda não permitem que se chegue a esse valor máximo de produção.

Continuemos a ver como evolui a produção com o tamanho da frota:

Vemos que as linhas de isoprodução possuem dois tramos aproximadamente rectilíneos, apontando, dentro de vários limites, para a definição de duas formas de aumentar a produção: aumentando ao número de pás ou aumentando ao número de camiões.

Porém, estas duas formas de aumentar a produção não promovem esse aumento da mesma maneira. Os incrementos da produção são muito mais rápido pela inserção de unidades de carga do que por aumento do número de camiões na frota. Por outras palavras, as curvas de isoprodução estão mais próximas na “rampa” de acesso ao “planalto” quando dependem das pás e mais afastadas na “rampa” quando na dependência dos camiões.

Em contrapartida, o comprimento da “rampa” na dependência do número de camiões é muito maior do que a das pás. Este facto pode ser lido como correspondente ao conceito técnico que nos indica que o número de camiões deve ser sempre superior ao número de pás. Em todos os casos de simulação realizados, nunca este facto foi contrariado.

Frotas equivalentes

Um outro aspecto resultante da leitura do mapa de produções representado relaciona-se com as várias frotas equivalentes que permitem obter a mesma produção. A título de exemplo, podemos ver que frotas com 2 pás e 7, 8, 9, 10, 11 ou 12 camiões realizam, todas elas, a mesma produção que neste caso se situa em valores da ordem dos 750 m³. Mas há mais frotas que permitem atingir essa mesma produção. Se atendermos a frotas com 6 camiões e número de pás

variando de 3 a 12, verificamos que os resultados de produção devido à sua utilização são também da mesma ordem. Estamos sobre a mesma linha de isoprodução. Vários recursos possibilitam o mesmo resultado. Trata-se de uma das propriedades importantes da função produção que é definida como a permutabilidade dos factores. É claro que todos os esses recursos possíveis com que se obtém a mesma produção terão custos operacionais diferentes. Haverá necessariamente um mínimo de recursos para cada produção que não será ditado por critérios exclusivamente económico/financeiros mas forçosamente (também) por factores físicos com implicações transparentemente óbvias. Exemplificando, um número elevado de pás assediando um camião para o carregarem em tempo mínimo acabariam por estorvar-se mutuamente e imporem esperas mútuas, deste modo comprometendo o desiderato de máxima brevidade na carga que com aquele assédio se procuraria.

Também é interessante verificar que produções abaixo de 350 m³ são conseguidas por um número bastante mais reduzido de frotas equivalentes do que produções superiores a estas.

Tudo isto permite encetar trabalho no sentido de procurarmos alguma optimização da frota para se garantir uma afectação mínima de meios e consequentemente os menores custos operacionais.

Sequência de frotas mínimas

Temos como ponto assente que, fixada uma configuração de capacidades de unidades de carga e transporte, adoptado um regime de funcionamento do britador primário (mais da tela e do pré-stock que lhe estão a jusante), determinada uma tolva eficaz para essa configuração e regime de actividade, estamos perante a possibilidade de proceder a um dimensionamento de frotas mínimas para diversas produções possíveis.

Antes de proceder a esta tentativa de optimização de frotas, devemos realçar que o sistema, tal e qual como foi concebido e está a ser trabalhado, parece apontar para um processo sucessivo de optimização das diversas variáveis em jogo. Aparentemente, estamos perante um sistema que permite a aplicação de estratégias gananciosas de optimização.

Mas continuemos.

Para tal, retomemos as representações da produção

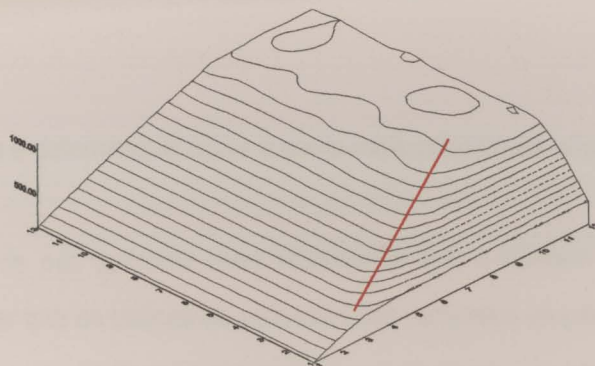
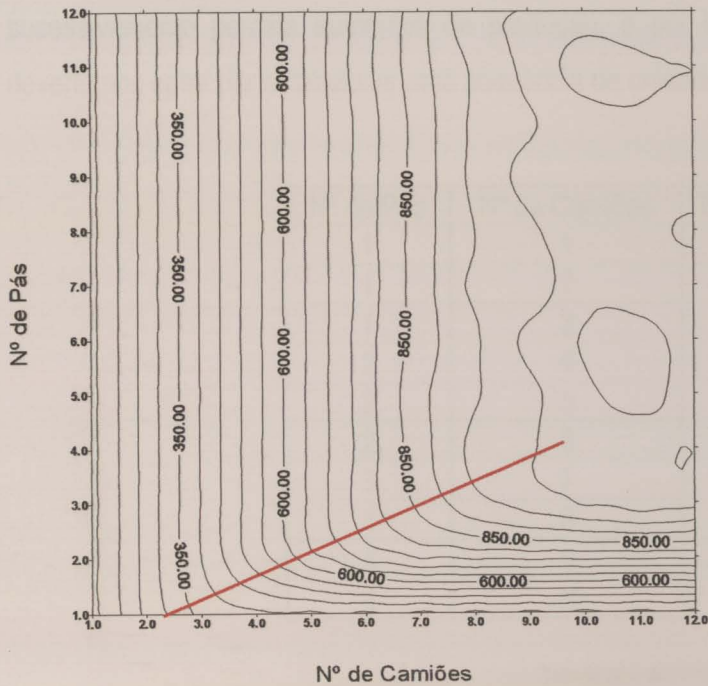


Fig. XI - 33

Tudo indica que os pares de valores NP - ND, correspondentes às frotas que se encontram próximo do cruzamento da linha a vermelho com as linhas de isoprodução, são os valores mínimos de unidades da carga e transporte que, ao interagirem no sistema e segundo o modelo adoptado,

possibilitam a obtenção dessas produções representadas. Serão essas as frotas mais económicas por usarem um mínimo de máquinas.

Numa perspectiva de dimensionamento de uma frota, minimamente optimizada, que sucessivamente permita aumentos de produção, e por leitura directa do mapa de produções, deveríamos optar por estabelecer uma sequência de unidades mais ou menos como a seguinte:

Nº de Pás	Nº de Camiões	Produção média
1	1	135.4
1	2	264.53
1	3	367.45
2	4	528.8
2	5	640.27
2	6	725.03
3	7	860.91
3	8	937.4
3	9	976.42
4	10	1025.7

Tabela XI - 4

Esta possível sequência é determinada sobre o ponto mais próximo da origem das curvas de isoprodução do mapa.

Vemos que o numero de pás aumenta mais lentamente que o número de camiões. Por outras palavras, podemos afirmar que os índices de utilização dos conjuntos de pás, por aumento da exigência de produção, atingem o seu limite mais lentamente que os grupos de camiões a laborar. É legítimo que assim seja tanto mais que, no modelo, uma pá pode servir mais do que um camião.

Esta é uma leitura que um mapa destes nos permite realizar.

Tempos de inactividade

Os tempos de inactividade que uma dada frota contabiliza são um factor a ter em consideração quando nos propomos pensar em optimizar um sistema não olhando unicamente para

a maximização da produção. Tentar uma optimização actuando num único objectivo é um ponto de vista redutor do conceito de optimização sistémica. A obsessão pela maximização somente da produção pode não conduzir a um desempenho económico do sistema.

O modo de aproximação à optimização que o nosso trabalho tem vindo a sistematizar parece apontar para a existência de variáveis em jogo capazes de serem analisadas em sequência, fixando-se valores para cada uma e diminuindo à liberdades das seguintes.

Aquando da definição das componentes do *objecto* referimos que, da interacção entre essas componentes, poderiam resultar tempos de actividades não intencionais que alteram os ciclos mínimos de actividade transformando-os em ciclos efectivos.

Naturalmente que um dos objectivos da optimização do sistema, que tem consigo o conceito de aproveitamento máximo de uma frota, será o de minimizar os tempos dessas actividades não intencionais, fazendo tender o ciclo efectivo para o ciclo mínimo.

Tendo em conta estas considerações, todas as simulações produziram como resultados diversos tempos de inactividade. Como, até ao momento, não apresentámos a grelha de dados extraídos do algoritmo, talvez seja esta uma oportunidade para o fazer.

No final de uma sequência de relevos, todos simulados nas mesmas circunstâncias e com geração aleatória de tempos de tarefa de todas as unidade intervenientes, permitindo a estabilização da média de todas as variáveis observadoras consideradas, o algoritmo alimenta dois ficheiros de resultados.

Um dos ficheiros possui a frequências de níveis de material para diversas classes de níveis dentro da tolva.

Um outro ficheiro agrupa em colunas, e para as diversas dimensões de tolvas usadas, um grupo de variáveis que posteriormente são manipuladas em diversos utilitários com vista a representar da melhor forma essas variáveis tendo como fim a sua análise.

A tabela XI – 5 reproduz valores de algumas dessas variáveis:

Exemplo de output para uma configuração VDB = 0.06 CP = 0.75 CD = 6

Frota de 3 Pás e 7 Camiões

Tolva	MFP	MPA	MFB	MPR	R	MTSC	1	2	3	4	5	6	7
7.38	2019.825	39444.66	67017.73	559.333	41	153.53	845.444	751.389	470.111	134.056	16.94	0	0
7.96	1991.32	36292.09	58861.42	597.098	41	1383.98	814.709	653.441	346.538	94.94	12.69	0.6	0
8.54	1924.878	35739.53	55684.03	624.333	41	275.117	820.833	643.611	307.611	78.22	6.333	0	0
9.12	2001.888	30016.01	41906.92	695.12	82	359.095	792.802	469.435	166.374	25.52	1.364	0	0
9.7	2221.781	30607.74	42232.22	694.989	10	2770.91	740.645	420.138	173.875	48.93	10.67	2.54	0
10.28	2351.791	26939.13	31035.86	761.653	16	4639.12	650.649	310.928	108.902	29.82	4.17	0.20	0
10.86	2944.728	25814.78	27504.56	776.9	14	5189.44	622.155	276.646	86.87	17.75	1.085	0	0
11.44	2858.16	26540.24	29621.03	762.321	20	5423.51	612.382	296.335	114.482	25.85	2.905	0.27	0
12.02	3160.812	24040.17	23630.82	798.363	11	6620.19	544.678	231.607	65.765	11.96	1.105	0	0
12.6	3470.025	22901.47	18755.12	820.854	17	7955.87	458.15	167.733	49.025	7.509	0.666	0	0
13.18	3794.156	21016.44	12840.24	854.378	9	9846.17	376.555	110.707	20.539	4.081	1.863	0.2	0
13.76	3815.579	21776.78	14199.8	848.02	13	9603.91	388.195	137.598	32.85	4.747	0.064	0	0
14.34	3808.915	21127.47	13314.1	853.184	10	10075.7	345.494	111.827	34.406	6.412	1.034	0	0
14.92	4095.641	21091.19	12490.49	858.924	27	10487.1	336.454	112.093	29.988	5.489	0.409	0	0
15.5	3945.688	21321.01	12464.14	856.454	9	10994.8	313.155	118.545	37.798	6.467	2.049	0.21	0
16.08	4309.12	19877.6	10869.77	860.91	20	10943.5	320.077	93.22	22.888	3.713	1.03	0.07	0
16.66	4292.856	19690.41	9120.586	875.233	14	11692.0	272.323	75.272	13.419	2.482	0.129	0	0
17.24	4407.803	20016.12	10141.79	864.088	18	11457.7	289.505	93.948	20.175	4.001	1.146	0.08	0
17.82	4023.53	19551.82	9609.596	873.929	29	11863.1	276.18	89.09	26.29	4.953	0.315	0	0
18.4	4403.914	20115.11	9759.092	865.626	16	11963.6	261.592	76.022	26.934	9.529	1.208	0.0	0
18.98	4428.797	19293.29	8238.94	875.8	28	12342.4	244.355	65.838	19.152	4.294	0.601	0	0
19.56	4489.67	19692.25	7664.567	885.228	21	12588.3	229.368	62.154	17.387	7.601	1.858	0.32	0
20.14	4647.952	18641.34	6400.628	884.487	24	13034.7	206.129	49.46	12.528	2.824	1.011	0.14	0
20.72	4358.249	18677.66	5812.255	892.228	30	13430.7	183.583	39.301	12.313	3.88	0.44	0	0
21.3	4553.386	18512.1	5639.426	890.224	24	13426.3	187.124	41.112	9.614	2.728	0.431	0.02	0
21.88	4667.924	18682.72	7491.04	878.068	18	12848.4	226.232	61.189	20.637	6.816	2.251	0	0
22.46	4366.293	18638.18	5679.674	896.153	37	13429.4	181.314	44.683	10.818	2.7	0.307	0	0
23.04	4437.626	18882.04	5975.092	885.939	17	13132.9	199.572	45.825	9.759	2.319	0	0	0
23.62	4447.084	18686.89	5104.369	894.734	26	13429.8	179.214	35.202	7.428	1.942	0	0	0
24.2	4677.541	18421.8	5240.469	893.217	51	13621.4	180.655	40.903	9.313	2.893	0.66	0.04	0
24.78	4560.55	18322.39	4793.264	895.654	35	13655.5	168.956	34.166	8.301	1.201	0.023	0	0
25.36	4536.806	18544.8	4363.095	898.186	24	13855.3	163.641	29.092	6.198	1.081	0.197	0.07	0
25.94	4373.365	18255.93	4510.556	902.717	26	13739.7	161.958	32.384	7.311	1.885	0.416	0	0
26.52	4716.121	18477.02	4994.737	893.031	26	13901	167.532	34.074	8.128	3.181	0.205	0	0
27.1	4757.607	17917.98	3566.198	902.57	32	14341.8	140.685	25.876	5.653	1.109	0	0	0
27.68	4789.68	17680.36	3138.588	906.292	67	14409.3	130.319	18.096	3.383	0.821	0.196	0	0
28.26	4688.97	17924.31	3184.822	908.538	31	14577.0	119.712	21.952	6.79	1.826	1.027	0.17	0
28.84	4486.446	17669.79	3158.489	905.071	37	14406.3	130.051	19.544	3.343	0.681	0.139	0	0
29.42	4367.87	17823.17	3088.713	909.989	24	14492.5	134.25	21.903	2.817	0.081	0	0	0
30	4630.502	17759.32	2797.386	908.612	28	14606.5	127.818	16.739	1.497	0.095	0	0	0

Tabela XI - 5

Tolva - Tamanho da tolva

MFP - Média total de tempos de espera na fila para carga

MPA - Média total de tempos de espera das pás

MFB - Média total de tempos de espera na fila de descarga

MPR - Média de produção

R - Nº de Relevos

MTSC – Média total de tempos da tolva com o nível de material no mínimo

1,2,3,4,5,6,7 - Média total dos tempos de ocupação dos diferentes lugares da fila da descarga

As 3 primeiras colunas correspondem aos tempos de inactividade respectivamente dos camiões na fila para serem carregados, das pás-carregadoras à espera de camiões e dos camiões aguardando oportunidade para a descarga.

Um dos objectivos será então analisar estes tempos, nomeadamente associá-los à produção, no intuito de determinar uma forma de produtividade associada a estas duas variáveis. Somados os 3 tempos de inactividade para as 144 frotas com que temos trabalhado e construído uma representação tridimensional com esse somatório, o resultado é o seguinte (figuras XI – 34 e XI 35):

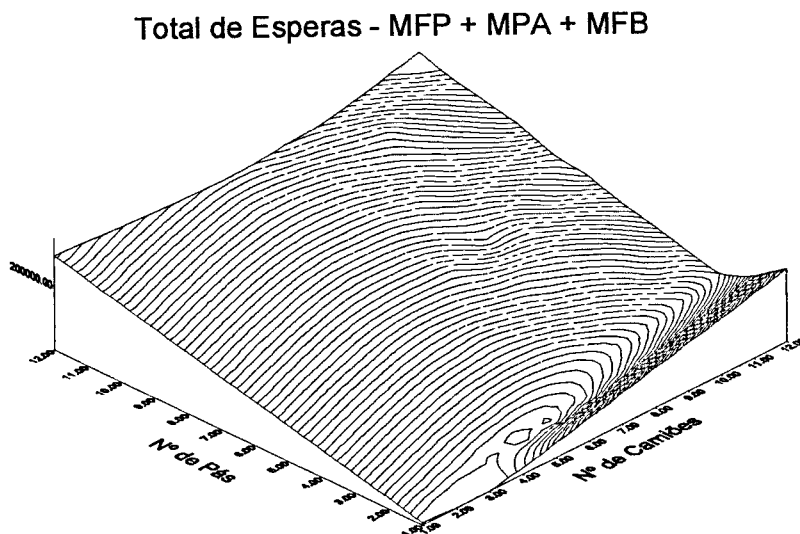


Fig. XI - 34

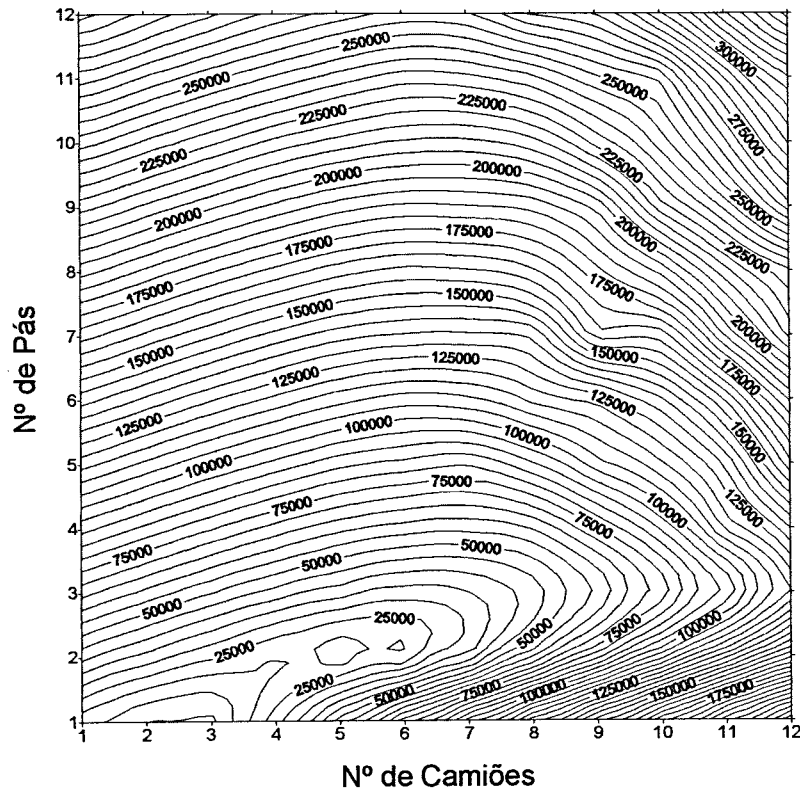


Fig. XI - 35

Vemos claramente um “talvegue” de mínimos desses tempos, aproximadamente coincidente com o alinhamento das frotas mínimas, que tem associadas as gamas de produções permitida pela configuração geral simulada pelo sistema.

Uma produtividade

Uma estima da eficácia do sistema em análise pode ser implementada tendo em conta, por um lado a produção média obtida por um dado conjunto de equipamentos durante um certo período de tempo e por outro as perdas de tempo devido à inactividade desses mesmos equipamentos no mesmo período de tempo. Estabelecendo um quociente entre a produção média do equipamento e o total de “esperas” desse mesmo equipamento podemos obter uma quantificação da eficiência operativa global, a que podemos também chamar “uma produtividade”. Sob este ponto de vista particular, segundo este critério de produtividade, a eficácia do sistema será tanto maior quanto

maior for a produção e quanto mais baixos forem os tempos de inactividade de uma frota. Como estas duas quantidades são função do número de unidades presentes e da interacção entre as componentes definidas no sistema, é de prever uma variação desta “produtividade” que convirá analisar. Foi isso que resolvemos fazer, mais uma vez sobre um dos exemplo já trabalhados comportando frotas e condições de operação pré-estabelecidos. Os resultados apresentam-se sob a forma de mapa de linhas de iso-produtividade e em representação tridimensional (figuras XI – 36 e XI - 37):

Produtividade (Produção / Total de Esperas)

VDB - 0.06 CP - 0.75 CD - 6

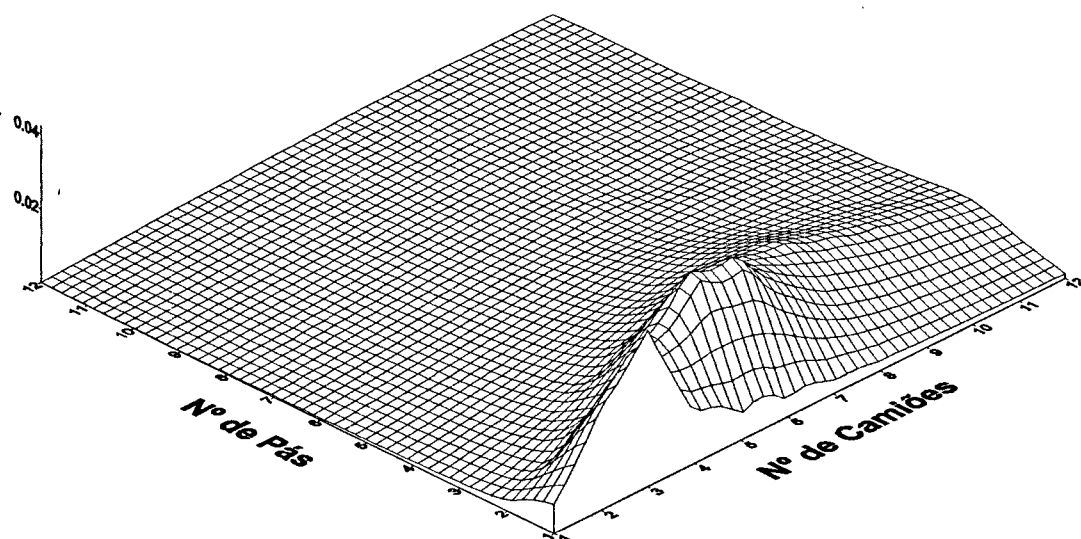


Fig. XI - 36

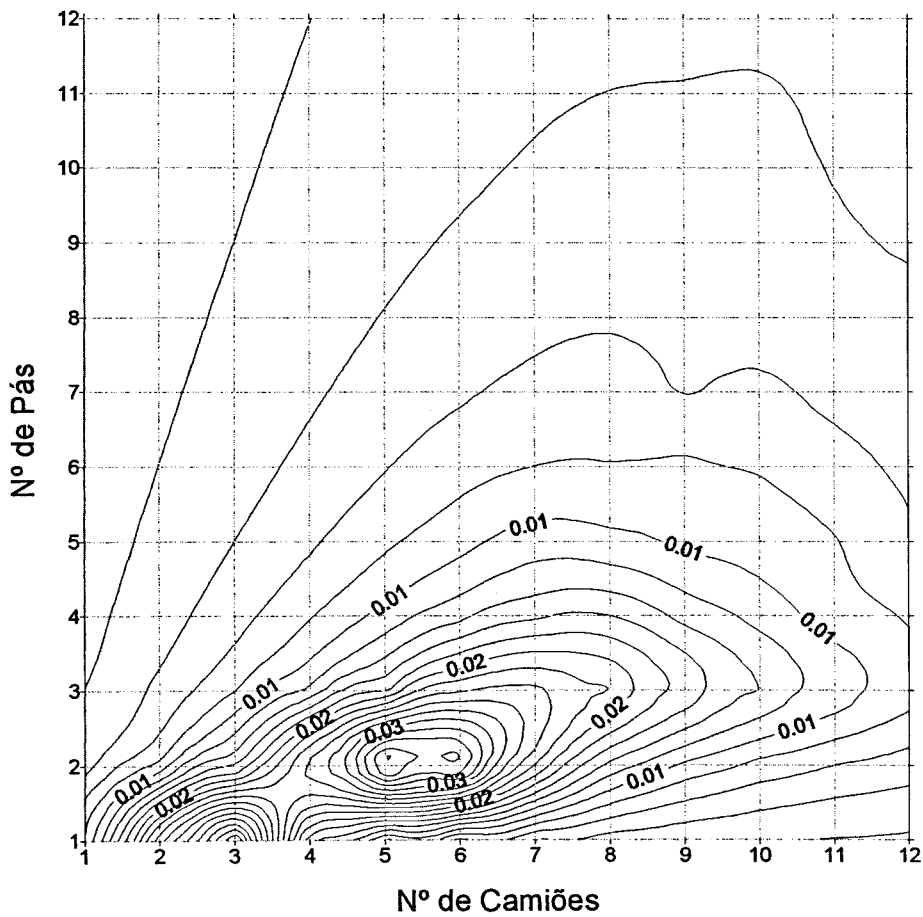


Fig. XI - 37

A nossa surpresa foi grande ao constataremos os extremos desta função bem como o posicionamento da “crista” da superfície gerada. Esta “crista” volta a ser coincidente com o alinhamento da sequência de frotas mínimas definidas anteriormente. Ao mesmo tempo verifica-se a existência de alguns extremos (num total de 4) correspondentes a uma maximização da função produtividade definida. Três desses extremos, coincidentes com 3 frotas distintas, são muito claros :

1 Pá e 3 Camiões
2 Pás e 5 Camiões
2 Pás e 6 Camiões

Tabela XI - 6

Um último extremo, não tão acentuado, corresponde à frota:

3 Pás e 8 Camiões

Tabela XI - 7

Estes extremos mostram que, de entre todas as frotas mínimas capazes de garantir as gamas de produção possíveis por uma configuração como a definida, algumas dessas frotas podem possuir coeficientes de utilização mais elevados do que outras. Por outras palavras, os tempos de inactividade de algumas frotas (das consideradas mínimas) é substancialmente menor que das restantes, tornando mais eficiente a actividade global do sistema.

Estes mínimos de tempos de inactividade já estavam presentes nas representações das páginas 44 e 45 do presente capítulo, embora a eles nunca lhes tenhamos dado grande destaque. Daí que somente ao realizar a análise desta produtividade eles se afigurassem como relevantes (só nesse momento é que ficamos surpreendidos) dado terem sido realçados pela presente representação.

Estas situações singulares correspondem a estados particulares de quase sincronia de operação entre as diferentes componentes do sistema.

Sincronia

Tentemos caracterizar melhor o que se entende por sincronia: um sistema como o construído está em sincronia perfeita se for capaz de assegurar um fluxo contínuo de material desde a frente de desmonte até ao pré-stock o que pressupõe que jamais ocorram esperas por parte de qualquer equipamento desse sistema – podemos chamar-lhe sincronismo absoluto. Se pensarmos na condição de sincronia entre as componentes que compõem as operações de carga e de transporte, podemos dizer que ela será maximizada se existir sempre um camião a ser carregado por uma pá. Porém, esta formulação, só por si, não constitui garantia da máxima sincronia em todo o sistema. Basta supor que o fluxo de material pode ser contínuo das pás para os camiões, mas estes últimos podem estar a registar tempo de espera no resto do seu ciclo de desempenho,

nomeadamente na actividade de descarga. O nosso Problema Primário, no contexto do estabelecimento de uma análise da sincronia de todo o sistema, reveste-se pois de uma importância fulcral, dado que da sua prestação vai depender precisamente o montante de tempos de espera para a descarga.

Os resultados obtidos na última representação mostram claramente que há, para algumas configurações, uma aproximação ao sincronismo absoluto sem, no entanto este ser atingido (aos máximos de produtividade correspondem sempre e ainda tempos totais de espera não nulos das pás e camiões). Estamos, portanto, num nível mais baixo de sincronia, mais realista, a que podemos chamar de sincronismo restrito.

Em sistemas reais, estes dois tipos de sincronismo são, de alguma forma, utópicos. Com efeito, em qualquer pedreira a laborar, o sincronismo é difícil de ser mantido durante largos intervalos de tempo, dado que não podemos esquecer que todos os tempos de actividade produtiva dos equipamentos são caracterizados por uma média e por uma dispersão em torno dessa média: são variáveis aleatórias. Por outro lado, os tempos de espera das unidades de carga e transporte são tão aleatórios quanto os tempos de actividade efectiva dos equipamentos, porque determinados pelo jogo destes últimos bem como pelo regime de funcionamento do britador e pela eficácia da tolva. Um outro factor que afecta o sincronismo está relacionado com as grandezas NP e ND, números de pás e camiões respectivamente, que são quantidades inteiras. A distinção entre actividades contínuas e descontínuas é imediatamente realçada por estas quantidades inteiras. O fluxo contínuo é impossível de ser estabelecido devido a este facto inerente ao sistema.

Dos resultados obtidos, podemos então concluir que, em média, há algumas frotas que conduzem a um desempenho do sistema mais próximo da condição de sincronia, mas mesmo com essas frotas haverá, ao longo do relevo, períodos de tempo em que esse desempenho será mais síncrono e noutros menos síncrono.

Levando um pouco mais longe o raciocínio sobre a concepção de sincronia que estamos a analisar no sistema construído, porque intimamente ligado ao conceito de aleatoriedade e também o facto de neste mesmo sistema trabalharmos com algumas variáveis inteiras (discretas), levam-nos a concluir que estes dois aspectos convergentes constituem duas das principais características da chamada área da Lavra de Minas. Nesta área, ao contrário da área da Preparação de Minérios, os

objectos possuem uma dinâmica claramente descontínua. A interacção entre as diferentes operações elementares da Lavra de Minas é marcada por fronteiras bem claras e interrupções nos processos produtivos. Estas interrupções correspondem a lapsos de tempo mais ou menos longos que vincam a descontinuidade no processo produtivo. A aleatoriedade (ou entropia) que caracteriza as actividades é em geral grande e o esforço despendido para “combater” essa entropia (procura da sincronia) é, naturalmente, ainda maior. As unidades de carga e transporte, em quantidades inteiras, implementam o processo produtivo por “golfadas” que também elas são caracterizadas por uma dimensão não constante. Como exemplo, atenda-se ao facto de, para além das diferentes capacidades que as gamas de máquinas podem possuir, ser possível encher mais ou menos um balde de uma pá ou a caixa de um camião. O custo desse esforço (que se pode traduzir numa busca da sincronia, ou seja, do tentar manter contínuo o fluxo do minério) é um problema fundamental mas ao mesmo tempo difícil de quantificar. Dada a complexidade do problema, a solução geral encontrada nos tratados de Lavra de Minas é a simplificação drástica dos conceitos. Senão vejamos: um plano de lavra de uma mina, obrigatoriamente contendo peças desenhadas, quando no final é comparado com o que na realidade foi implementado, para além de ser uma caricatura muito imperfeita dessa realidade, nunca poderia conter os acontecimentos e factos que ocorreram, imprevisivelmente, durante a exploração. Trata-se de lidar directamente com uma entidade natural, o jazigo, que o homem não criou e ao qual tem que adaptar metodologias e tecnologia de exploração. Os desenhos são a forma de retirar (deliberadamente) a entropia intrínseca ao *objecto*. Na Preparação de Minérios lidamos com materiais em fases sucessivas correspondentes (quase sempre) a menores quantidades de material e ao mesmo tempo com metodologias mais próximas do contínuo. Vamos adquirindo em cada uma delas um maior domínio sobre o produto trabalhado.



“Porém, só o mais primário dos observadores pode sentir a Mina como uma perturbação do equilíbrio natural ... Se contemplarmos cuidadosamente este quadro do progresso humano, veremos que as suas artes se organizam em uma bela harmonia: nas escombrelas maiores estão os minerais das gangas; em outras, de cores variadas, os resíduos da Preparação Mecânica; em outras ainda, de cor negra as escórias; finalmente, dentro da Lavaría o cobre vermelho ou o ouro deslumbrante. Sob a aparente confusão do quadro oculta-se uma ordem maravilhosa: iniciada de modo natural na Metalogénese, acabou de cumprir-se a separação dos materiais; do caótico estado primitivo surgiu finalmente uma ordenação clara. A árvore genealógica natural dos Jazigos Minerais ramificou-se ainda mais, a sua floração foi estimulada pelo Homem para obter das suas mais finas extremidades o ansiado metal.

O Mineiro venceu, finalmente, a Entropia”

(Hans Cloos, in Dialogo com a Terra)

Consequentemente, inventamos metodologias mais eficazes de abordagem dos problemas e ao mesmo tempo socorremo-nos de tecnologias no âmbito do contínuo com soluções de elevado grau de optimização.

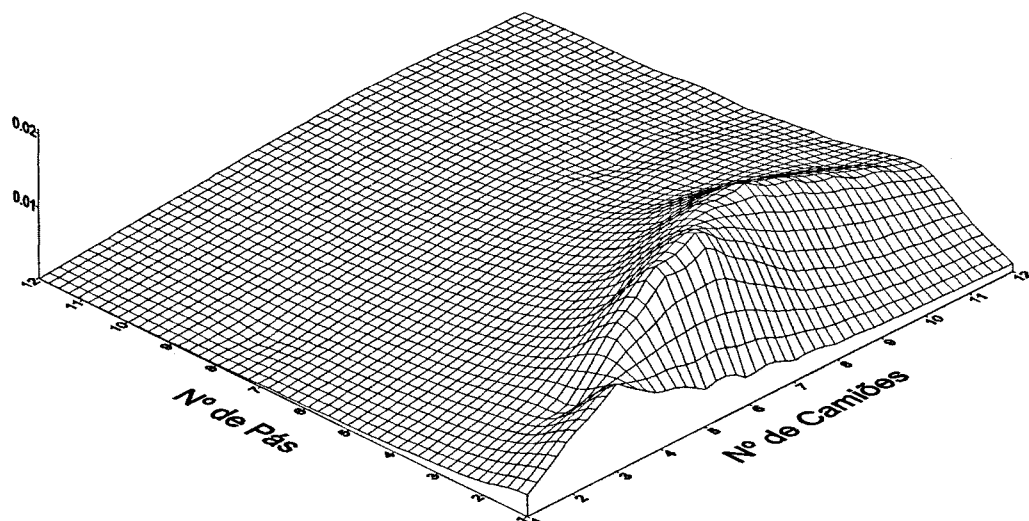
Continuemos esta tarefa de tentar antecipar o mais possível a vitória sobre a entropia.

Outra Produtividade

Como possuíamos resultados estatísticos relativos ao total de instantes em que o nível de material na tolva esteve no limite inferior, resolvemos adiciona-los aos totais de tempos de inactividade das máquinas de carga e transporte e calcular uma nova produtividade, agora correspondente ao quociente entre a produção obtida por cada frota e este último total de esperas. Novamente optamos por uma representação em mapa e em vista tridimensional:

Produtividade (Produção / Total de Esperas *)

VDB - 0.06 CP - 0.75 CD - 6



* Total de Esperas das Pás e Camiões + Total de instantes de tolva vazia

Fig. XI - 38

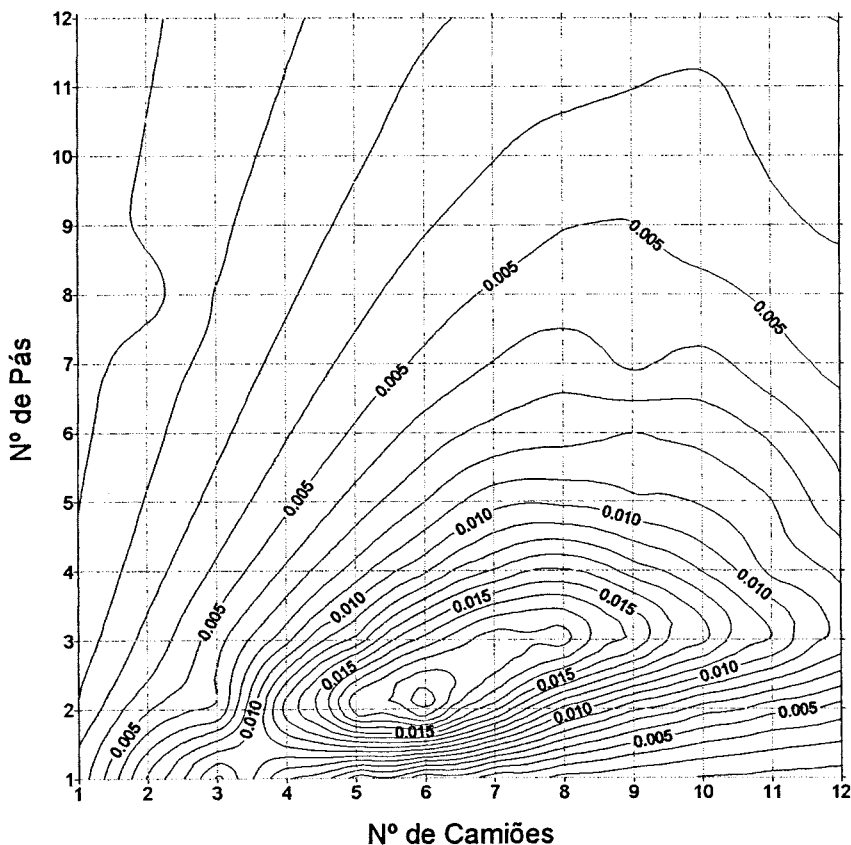


Fig. XI - 39

Comparativamente à produtividade anteriormente calculada, registam-se algumas diferenças, embora o comportamento geral desta função se mantenha. Naturalmente que toda a “superfície” viu rebaixadas as suas “cotas” de produtividade. Uma primeira diferença relaciona-se com as frotas relativas aos extremos máximos da produtividade: a frota NP = 3, ND = 8 adquire maior relevância em termos de extremo, enquanto que as frotas NP = 2, ND = 5 e NP = 1, ND = 3 perdem significado. O extremo absoluto da produtividade transferiu-se da frota NP = 1, ND = 3 para a frota NP = 2, ND = 6. Quando se passa a quantificar as “esperas da tolva sem material para fornecer ao britador”, para se atingir um máximo de produtividade exige-se a presença de uma frota com maior número de máquinas.

Análise de resultados para diferentes coeficientes de variabilidade

Conhecidos que são alguns efeitos peculiares da produção e da produtividade, obtidos por Miranda (Miranda, 1986), em função de diferentes coeficientes de variação (quociente entre os valores do desvio padrão e da média dos tempos de actividade) das actividades realizadas pelas diversas entidades a operar no sistema, fomos levados a gerar alguns dos nossos resultados tendo em conta em consideração também alguma variação desses coeficientes.

O objectivo que nos orientou foi verificar a coerência (ou não) dos resultados com a proximidade ou afastamento da duração das actividades em relação a uma situação limite correspondente a existência de um mínimo para os valores da dispersão dos tempos de execução dessas actividades. Por outras palavras, trata-se de imaginar as actividades a desenrolarem-se sempre de modo idêntico, sem interferências estranhas a essas mesmas actividades.

Para conseguir este estudo, promovemos sucessivas simulações com uma frota pré-determinada ($N_p = 2$, $ND = 6$, $CP = 0.75$, $CD = 6$, $VDB = 0.06$), em que mantivemos fixas as médias dos tempos de actividade (para que a actividade seja sempre a mesma e em média realizada no mesmo tempo) e fizemos variar o desvio padrão de forma a obter coeficientes de variação sucessivos e passo de variação fixo. Resolvemos fixar a diferença entre os sucessivos coeficientes de variação em 10%.

TAREFA	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO ORIGINAL
ARRUMAÇÃO	26,6 %
MANOBRA	21,5 %
VIAGEM DE IDA	7,8 %
DESCARGA	20,49 %
VIAGEM DE REGRESSO	16,78 %

Tabela XI - 8

Como a actividade de Ida é a que possui coeficiente de variação mais baixo (esta situação já foi analisada aquando da observação dos histogramas de tempos de actividade recolhidos no terreno), foi a partir desta que definimos uma variação dos coeficientes desde 5% até 85%. Ao

mesmo tempo, mantivemos constantes as diferenças entre os coeficientes de variação, adoptando as diferenças originais. Devemos referir que foram acrescentados resultados “determinísticos” (coeficiente de variação = 0.1) (coluna 0) e nesta situação não foram mantidas as referidas diferenças.

TAREFA	COEFICIENTES DE VARIAÇÃO TESTADOS (%)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ARRUMAÇÃO	0.1	23.8	33.8	43.8	53.8	63.8	73.8	83.8	93.8	100
MANOBRA	0.1	18.7	28.7	38.7	48.7	58.7	68.7	78.7	88.7	98.7
VIAGEM DE IDA	0.1	5	15	25	35	45	55	65	75	85
DESCARGA	0.1	17.69	27.69	37.69	47.69	57.69	67.69	77.69	87.69	97.99
VIAGEM REGRESSO	0.1	13.98	23.98	33.98	43.98	53.98	63.98	73.98	83.98	93.98

Tabela XI - 9

Os resultados da produção, total de “esperas” das pás e camiões e de uma produtividade (produção/total de esperas) em função dos coeficientes de variação testados apresentam os seguintes valores:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PRODUÇÃO	959,886	945,235	934,669	922,891	911,511	898,955	898,635	883,281	874,474	861,076
ESPERAS	36086,7	39392,1	42598,2	44532,5	47871,7	52035,6	50605,5	55826,1	57845,1	61540,5
PRODUTIVIDADE	0,02127	0,01935	0,01800	0,01703	0,01591	0,01466	0,01487	0,01358	0,01302	0,01220

Tabela XI - 10

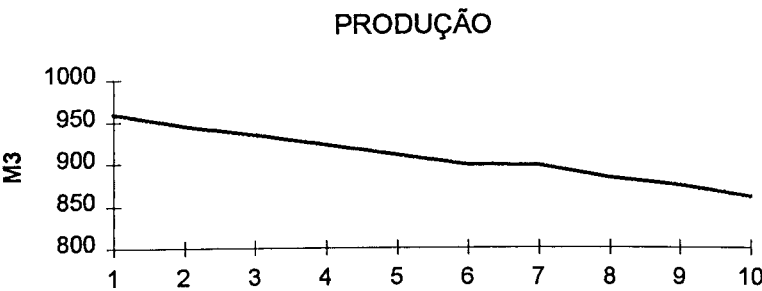


Fig. XI - 40

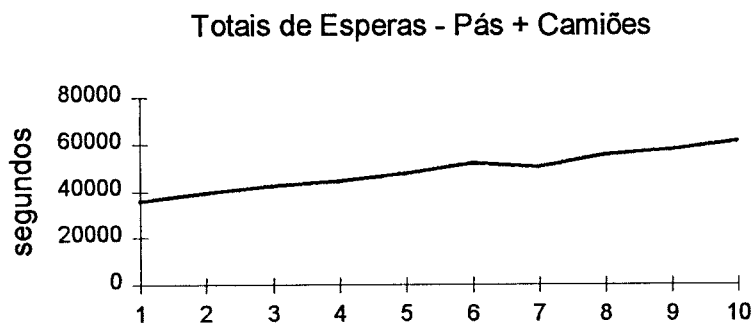


Fig. XI - 41

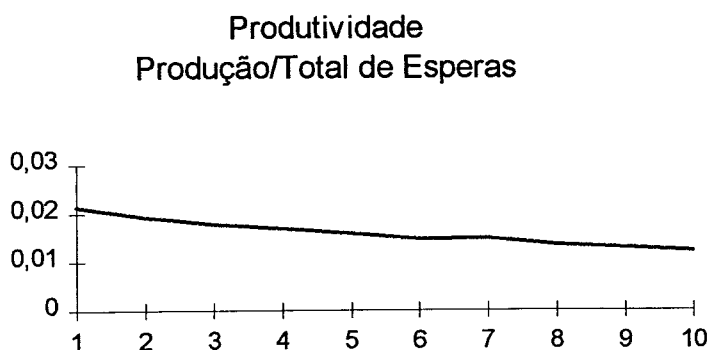


Fig. XI - 42

Os resultados mostram um claro aumento da produção e ao mesmo tempo uma diminuição substancial dos tempos de espera à medida as actividade apresentam sucessivos coeficientes de variação mais baixos. A aproximação ao determinismo faz diminuir tempos perdidos, aumentando o rendimento de cada unidade de carga ou de transporte e consequentemente a produtividade global do sistema.

Resolvemos ainda verificar para todas estas situações simuladas (e para a configuração usada anteriormente) a variação do número médio de réplicas de cada relevo para estabilização dos

resultados a analisar. É de esperar uma diminuição das réplica à medida que os tempos das actividades vão possuindo menor variabilidade:

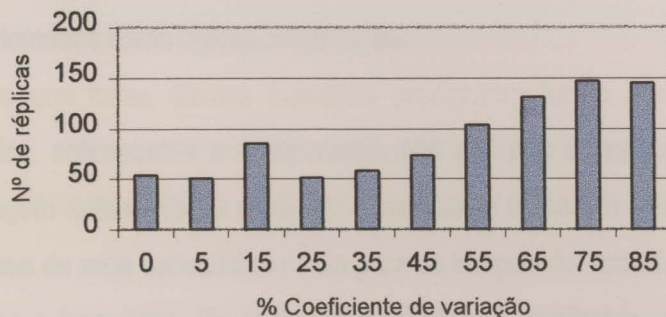


Fig. XI - 43

Os resultados na sua globalidade são coerentes, embora não tenhamos conseguido obter uma justificação para o pequeno pico no numero de réplicas quando se usa um coeficiente de variação da ordem dos 15%.

Gama de Produções de uma frota. Índices de utilização.

Durante as actividades que deram origem ao presente trabalho, tivemos a oportunidade de usufruir dos resultados produzidos por uma investigação paralela levada a cabo pelo nosso coorientador, Prof. Botelho de Miranda. A metodologia de análise dos sistema de carga e transporte por ele criada caracteriza-se por uma bordagem determinística pura, assente numa condição de balanceamento entre unidades de carga e transporte conseguida mediante uma relação fundamental de equilibrio assim estabelecida:

$$\frac{NC}{NP} \equiv \frac{TCE(C)}{TCE(P)}$$

em que TCE(C) e TCE(P) representam respectivamente os tempos de ciclo efectivos dos camiões e das pás onde se contabilizam os tempos de actividade e de espera das unidades móveis do sistema.

O determinismo surge considerando a não existência de variações nos tempos produtivos de actividade. Estes são tomados como rígidos, invariantes.

Os resultados que estes últimos trabalhos produziram foram, apesar de oriundos de metodologias diferentes, sobrepostos e comparados aos por nós conseguidos sobre o modelo estocástico. A abordagem determinística pode ser considerada como um caso limite da simulação estocástica na hipótese de uma variabilidade nula para os tempos de actividade produtiva ou não das unidades de carga e transporte. Da comparação realizada resultaram validações mútuas dos dois modos de abordagem do sistema considerado bem como uma muito estreita semelhança em muitos dos fenómenos identificados. Dado o elevado interesse desses resultados, resolvemos em conjunto, dar conhecimento dos mesmos nas *III Jornadas Técnicas* promovidas pela **Associação dos Industriais da Pedra do Norte (AIPGN)** e realizadas sob o patrocínio do Instituto Geológico e Mineiro (Porto). Em anexo apresenta-se uma cópia do artigo submetido à organização das referidas Jornadas.

Um dos resultados que não resistimos agora a reproduzir relaciona-se com o conceito de ***gama de produções de uma frota***. Foi possível quantificar, através da análise determinística e para uma configuração previamente estabelecida, a gama de produção que uma frota pode garantir em função índice de utilização (ou rendimento) das máquinas. É sabido que uma máquina disponível e em actividade pode estar a ser utilizada em diferentes graus das suas capacidades. Uma frota de camiões pode estar a ser subaproveitada, caso averbe muitas esperas (por exemplo, pela existência de um número reduzido de pás no sistema) ou então, na situação extrema oposta, estar no limite das suas capacidades (rendimentos máximos) sendo necessário, por exemplo, acrescentar mais uma pá ao sistema, diminuindo imediatamente ao índice de utilização das pás e puxando ao máximo exequível o índice de utilização dos camiões. Sabe-se que máquinas como as que utilizamos nunca trabalham a 100% das suas capacidades, sendo admitidas eficiências máximas e 75% para os camiões e de 85% para as pás carregadoras. Estes valores relevam de várias circunstâncias, como por exemplo, idade das máquinas, sua adaptação às tarefas a executar, estado das pistas de

circulação, experiência dos operadores, estratégia técnica de operação adoptada, etc. O índice de utilização de um camião - $IU(C)$ – coincide, na sua definição, com a noção clássica de rendimento:

$$IU(C) = \frac{TCM(C)}{TCE(C)}$$

onde $TCM(C)$ representa o tempo de ciclo mínimo de actividade (excluindo, portanto, qualquer tipo de inactividade) e $TCE(C)$ quantifica o tempo de ciclo real, efectivo, desse camião. Procedamos à análise do seguinte gráfico onde se representa a sequência de frotas mínimas determinadas por simulação determinística, segundo a metodologia criada pelo Professor Miranda:

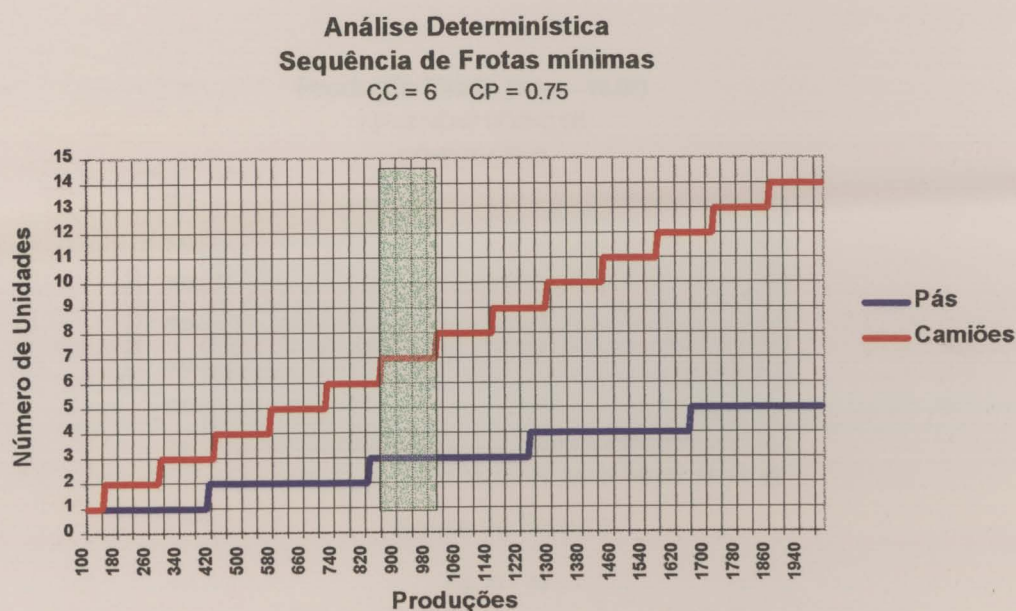


Fig. XI - 44

Nesta representação podemos verificar algo que para nós já não constitui novidade: o número de unidades carregadoras (pás) na sequência de frotas mínimas aumenta, em função da produção exigida, mais lentamente que o número de camiões. Ao mesmo tempo, podemos verificar que uma certa frota pode realizar uma determinada gama de produções, dependendo esta do grau de utilização que se estiver a dar a essa mesma frota.

Ora, este último fenómeno tinha sido objecto de uma rápida referência no início do Capítulo. A sua ocorrência vem, no nosso modelo, mascarada pela necessidade imperiosa de trabalharmos com valores estabilizados, nomeadamente médias invariantes (dentro de um intervalo de confiança) esbatendo a variabilidade que lhe está intrínseca. Não lhe dedicamos muita atenção pois ele não constituiu um alvo de pesquisa deliberado, dado situar-se para além dos objectivos perseguidos com este trabalho. Mas, alertados pelos resultados supracitados, resolvemos usar o nosso simulador e obter dele as produções diárias (para os diversos relevos que o programa promove) observando e representando graficamente as respectivas variações, naturalmente correspondentes a diversos índices de utilização da frota. Ensaíamos este estudo sobre uma frota (NP=3 e ND=7) que permitiu a comparação de resultados nossos, anteriormente produzidos, com os obtidos pelo Prof. Miranda:

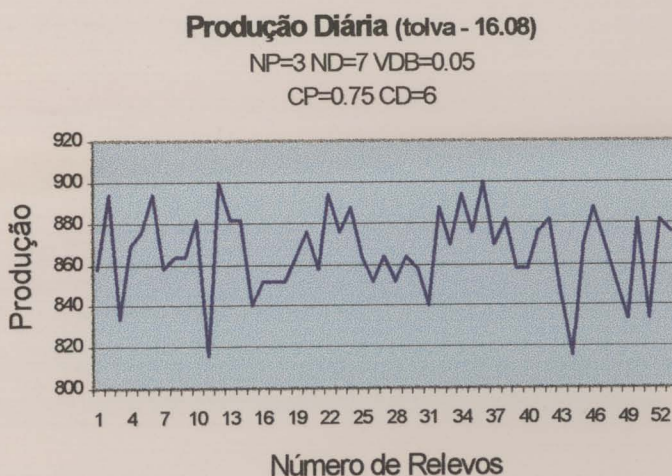


Fig. XI - 45

Estes valores destacam uma variação na capacidade de produção da frota que oscila entre um mínimo de 816 m³ até um máximo de 900 m³. A média destes resultados é da ordem dos 883 m³.

Os dados que obtivemos são da mesma ordem de grandeza dos da mesma frota quando analisada com uma simulação determinística (área sombreada do gráfico de análise determinística).

Este foi um dos resultados que permitiram a validação mútua de programações (estocástica e determinística) que conseguimos estabelecer.

Nem todos os dados recolhidos durante as simulações foram aqui apresentados, continuando o autor a realizar a sua análise e mesmo a possibilitar que o simulador forneça outras informações que se encontram no seu âmago. Terminamos por aqui porque em algum sítio era necessário terminar.

Capítulo XII
Conclusões e desenvolvimentos futuros

*“Os muros são horizontes de todos quantos
aspiram ao voar dos pássaros. Inventar, noutras
asas, formas de transpor os obstáculos, eis o
grande, o absoluto desafio das gaivotas que
persistem”*

(Pacheco, H. – 1990)

Conclusões e desenvolvimentos futuros

Ao terminar esta fase do trabalho que temos vindo a desenvolver no DEP. MINAS – FEUP, estamos mais convictos de que o dimensionamento de frotas de carga e transporte em conjugação com volantes intermédios de armazenagem/regularização em explorações mineiras a céu aberto é passível de uma abordagem integrada sob condição de se possuir um modelo devidamente validado e capaz de produzir resultados relevantes para o fim em vista.

A Metodologia Sistémica adoptada revelou-se como um caminho a ser seguido em futuras explorações do tema em estudo, dada a quantidade e qualidade dos frutos que dela foram retirados na presente abordagem.

Ao mesmo tempo, da sistemática implementada, resultou um grande número de interrogações a que não demos resposta e que se afiguram como prometedoras na definição de mais conceitos associados ao sistema criado.

O estudo de análises de sensibilidade de soluções, utilizando flexibilidades do algoritmo ainda não exploradas (por exemplo, usando frotas possuindo unidades móveis com diferentes características) que permita avaliar condutas de gestão mais ou menos vulgarizadas (por exemplo, manutenção preventiva) ou então a exploração do modelo com vista a uma melhor identificação de parâmetros críticos que permitam a criação de incentivos locais à produtividade global do sistema,

são temas emergentes para os quais sentimos que atingimos no momento oportuno de lhes consagrar mais tempo e atenção.

Um outro aspecto a que dedicamos alguma atenção e que vulgarmente é considerado como problema secundário diz respeito ao conceito de parâmetro do ambiente do sistema. O estudo da dependência dos factores críticos do sistema relativamente aos parâmetros de ambiente, parece-nos ser um ponto para o qual ficamos particularmente sensibilizados, nomeadamente pela influência que a sua consideração explícita pode ter relativamente à dispersão dos tempos de actividade das entidades das componentes do sistema.

A hipótese levantada para o dimensionamento da tolva, problema central deste trabalho, afigura-se-nos como plausível e fundamentada por alguns resultados (casuísticos) por nós obtidos. No entanto, estamos também convictos que, dada a forma um pouco inesperada e surpreendente como surgiu e perante o papel fundamental que a entidade – tolva – exerce no sistema estabelecido, levanta a questão da necessidade de uma sua fundamentação mais sólida, que só poderá acontecer através de mais programas de investigação em seu torno.

Apesar de o dimensionamento da tolva ter sido o Problema Primário que nos ocupou, pensamos ter deixado claro que, a partir dele, outros conceitos foram descobertos e apreendidos contribuindo-se assim para uma melhor clarificação da forma como o sistema funciona, como interactivam as suas componentes e que papel desempenham as entidades que as compõem.

Pensamos ter levantado o véu de uma sistemática de dimensionamento optimizado, englobando a análise sucessiva de certos parâmetros e distinguindo alguns deles como sendo críticos e de decisão num mais abrangente processo de optimização que se deve perseguir. A validade de uma estratégia gananciosa, que permita uma simplificação do problema, não ficou totalmente justificada mas afloraram-se perspectivas de esta poder vir a ser validada para o tipo de sistema em estudo.

É para nós também relevante o facto de ser possível utilizar o simulador construído como ferramenta didáctica para o ensino de conceitos associados às explorações a céu aberto. Este aspecto pode e deve ser ainda largamente desenvolvido, aumentando a sua eficácia à custa de sucessivas experiências de sala de aula que se implementem. Fica no entanto a ressalva de que estamos cientes da importância de não se abdicar das actividades de campo nas disciplinas de exploração de minas como factor fundamental na aprendizagem dos alunos.

Em paralelo, e com a colaboração do co-orientador, foram construídos modelos determinísticos de Sistemas com configurações físicas semelhantes, visando metas idênticas, tendo em vista uma validação/refutação mútuas.

A concordância global e sensatez dos resultados-limite deste modo obtidos com os resultados oriundos do enfoque probabilístico por nós adoptado parece confirmar plenamente a proficiência da estratégia e das opções que nortearam a elaboração deste trabalho.

Esta interacção demonstra a importância de se aumentar o número de intervenientes na investigação de temas da área da exploração, ramo da Engenharia de Minas em que, devido às suas características particulares, nomeadamente o carácter descontínuo de muitas das suas operações unitárias, se encontra longe de poder ser considerada como minimamente desenvolvido.

Sejamos capazes de promover mais a interacção e aumentar o grupo de protagonistas nesta linha de investigação permitindo a criação e fundamentação de metodologia adequadas à esta área da *“arte de minas”*.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

1. "Manual de Produção", 1994, Caterpillar – Peoria – EUA
2. "Materials Movement Handbook", Sem data, Volvo BM – Eskilstuna – Sweden
3. "Noções Elementares de Terraplanagem", 1982, S.T.E.T., Sociedade Técnica de Equipamentos e Tractores, SARL – Prior Velho – Sacavém – Portugal
4. Aguilar, L.J., 1986, "Metodologia de la Programacion", McGraw-Hill de Mexico – Mexico
5. Antunes, J. L., 1997, "Um modo de ser", Gradiva – Lisboa – Portugal
6. Cerveira, A. M., 1974, "Preparação de Minérios. Fragmentação e Classificação", Vol. 1, Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
7. Collins, W.J., 1988, "Programação estruturada com Estudos de casos em Pascal. Algoritmos Estruturados", McGraw-Hill – S.Paulo – Brasil
8. Cortez, A.J.S., 1977/78, "Métodos de Exploração de Minas e Pedreiras", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
9. Fiuza, A. M. A., 1989, "Fundamentação das variáveis essenciais do Projecto Mineiro. Aplicação a um caso – exemplo", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
10. Gottfried, B.S., 1989, "Programação em Pascal", McGraw-Hill de Portugal - Portugal
11. Labrousse, C., Sem data, "Estatística Descritiva. Resumos teóricos – exercícios resolvidos", Rés Editora – Porto - Portugal
12. Law, A.M. e Kelton, W.D., 1991, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, Inc – New York – USA
13. Leite, A.J.M., 1990, "Simulação de Sistemas de Transporte e Armazenamento. Aula para uma nova disciplina", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
14. Leite, A.J.M., 1990, "Simulação de Transportes e Armazenamento em Lavra a Céu Aberto. Novos critérios de dimensionamento", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
15. Leite, A.J.M., 1993, "Uma metodologia de análise da dinâmica de transporte e armazenamento", A Fraga, nº 1, Revista da Associação dos Industriais da Pedra do Norte – Porto – Portugal

16. Ludovic Geymonat, 1985, "Elementos de Filosofia da Ciência, Gradiva – Lisboa – Portugal
17. Madureira, C.M.N. e Soares, A., 1988, "Heurística e Epistemologia da Produção Científica: um contributo para a fundamentação metodológica de uma prática da investigação científica", texto inédito, Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
18. Madureira, C.M.N., 1992, "A Metodologia Sistémica", Geo-Sistemas, nº 1, Centro de Valorização de Recursos Minerais – Lisboa – Portugal
19. Madureira, C.M.N., 1993, "Projecto Sistémico", Geo-Sistemas, nº 2, Centro de Valorização de Recursos Minerais – Lisboa – Portugal
20. Madureira, C.M.N., 1995, "A Falência do Paradigma da dedutividade (indecidibilidade, incompletude, não-categoricidade): Matemáticas alternativas e Raciocínios alternativos", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
21. Madureira, C.M.N., 1998, "Sobre a história e o conteúdo do conceito de irreversibilidade em Física", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
22. Madureira, C.M.N., Fiúza, A.M.A. e Lopes, J.M.C., 1992, "A Estratégia do Projecto", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
23. Madureira, C.M.N., Sem data, "A Ciência e a Arte da Simulação de Monte Carlo", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
24. Mélése, J., 1970 – "La gestion par les Systèmes", Ed. Hommes et Thechniques – Paris
25. Miranda, H.S.B., 1986, " Transportes Mineiros. Efeitos peculiares da disciplina de fecho do relevo", Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
26. Miranda, H.S.B., 1998, "Análise de Sistemas de Carga e Transporte. Uma abordagem determinística", Texto em fase de elaboração, Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto – Portugal
27. Nascimento, M. M. S., 1989, "Noções preliminares na construção e na utilização do DCA – Abordagem exemplificativa", Departamento de Matemática – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Portugal

28. Nascimento, M. M. S., 1989, "Tópicos Elementares sobre Simulação", Departamento de Matemática – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Portugal
29. Novaes, A.G.N., 1975, "Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos probabilísticos", Editora da Universidade de S.Paulo - McGraw-Hill do Brasil – Brasil
30. Pacheco, H., 1990, "Os dias comuns", Editorial Caminho – Lisboa – Portugal
31. Payne, J. A., 1988, "Introduction to Simulation", McGraw-Hill, Inc – New York – USA
32. Popper, K.R. 1992, "Pós-escrito à lógica da descoberta científica – O Realismo e Objectivo da Ciência", Volume 1, Publicações D. Quixote – Lisboa – Portugal
33. Popper, K.R. e Lorenz, K., 1990, "O Futuro está aberto", Editorial Fragmentos – Lisboa – Portugal
34. Popper, K.R., 1992, "Em busca de um mundo melhor", Editorial Fragmentos – Lisboa – Portugal
35. Praia, J.J.F.M.P., 1995, Formação de Professores no Ensino da Geologia: Contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da Deriva Continental. Universidade de Aveiro – Aveiro – Portugal
36. Rassool, I., 1993, "Sistema Terra", Biblioteca Básica de Ciência e Cultura, Instituto Piaget – Lisboa – Portugal
37. Rosmorduc, J., 1979, "De Tales a Einstein. História da Física e da Química", Editorial Caminho - Lisboa – Portugal
38. Saint-Exupéry, A., 1940, "O Príncipezinho", Editorial Ester – Lisboa – Portugal
39. Santos, M.E.V.M., 1991, "Mudança Conceptual na Sala de Aula. Um desafio pedagógico", Livros Horizonte – Lisboa – Portugal
40. Savater, F., 1994, "El contenido de la felicidad", Aguilar, S.A – Madrid – Espanha
41. Young, L. B., 1986, "O Planeta Azul", Editorial Presença – Lisboa – Portugal

Posfácio

Um ponto de vista sobre o "objecto"

Impressão Digital

*Os meus olhos são uns olhos,
e é com esses olhos uns
que eu vejo no mundo escolhos,
onde outros, com outros olhos,
não vêem escolhos nenhuns.*

*Quem diz escolhos, diz flores!
De tudo o mesmo se diz!
Onde uns vêem luto e dores,
uns outros descobrem cores
do mais formoso matiz.*

*Pelas ruas e estradas
onde passa tanta gente,
uns vêem pedras pisadas,
mas outros gnomos e fadas
num halo resplandecente!!*

*Inutil seguir vizinhos,
querer ser depois ou ser antes.
Cada um é seus caminhos!
Onde Sancho vê moinhos,
D.Quixote vê gigantes.*

*Vê moinhos? São moinhos!
Vê gigantes? São gigantes*

ANTONIO GEDEÃO in “Movimento Perpétuo”, 1956

A Realidade onde se insere o nosso Problema Primário

O “objecto” visto de dentro

Quinta do Moinho, 8 de Maio 1995

- 1 Foi num frio início de manhã, por volta das 7 horas e 15 minutos, que atravessei uma das pontes sobre o rio Douro, em direcção à unidades industrial de extracção de pedra.
- 2 Envolvendo esta ponte, um nevoeiro denso e cerrado não me deixava vislumbrar as viaturas que seguia e as que me ultrapassavam eram a expressão clara da loucura de quem tem muita pressa.
- 3 Continuei para Sul, abandonei a Auto-estrada em que circulava e dirigi-me a uma via secundária que me conduziu às proximidades de uma Escola onde, por sinal, já tinha estado num encontro de formação de professores. Ali já a atmosfera estava isenta de névoa, clareando lentamente, anunciando um dia sem nuvens.
- 4 Parei o carro junto à escola, não resistindo a um anúncio que indicava a presença de um café aberto aquela hora. O frio mais acelerou o desejo de um café, vício que, para além de uma necessidade social, mais não é do que uma energia de activação para arranque de um dia de trabalho.
- 5 Findo este importante momento, regressei ao carro e, por uma estrada em muito mau estado de conservação, aproximei-me mais da unidade industrial. A sensação de estar perto do meu destino era clara. A estrada e um camião de grande capacidade que seguia à minha frente não deixavam duvidas. Havia algum pó no ar. Imaginei a nuvem de poeira que, dali a algumas horas, permaneceria suspensa quando a pouca humidade que ainda persistia no solo desaparecesse.
- 6 Entrei através de um espaço aberto num grande muro de quinta, fiz um percurso por entre pinheiros e eucaliptos e parei o carro junto dos escritório da empresa. O colega com quem combinei este encontro estava já à minha espera. Depois de um diálogo de cumprimentos e de confirmação dos objectivos a que nos propuséramos, conduziu-me a pé por um caminho entre árvores onde, provavelmente muitas pessoas passavam ao longo do dia. A vegetação natural não crescia nesse caminho. Rodeados de materiais próprios de um estaleiro, chegamos a um

grande hangar onde várias pessoas se atarefavam em volta de uma pá carregadora que mais parecia um paciente com “as tripas de fora”. Notava-se que algo de grave se tinha passado com aquela bisarma.

7 Ao fundo um grupo de homens, em roda de um bidão de 200 litros de onde se viam sair chamas provenientes de madeira a arder, conversavam animadamente e faziam gestos com as mãos numa tentativa de as manter quentes.

8 Aproximámo-nos.

9 O grupo fez silêncio pronunciando um “bom dia” colectivo como resposta ao nosso cumprimento.

10 Fui apresentado ao Sr. Ernesto, que me apertou a mão proferindo o seu “bom dia” (particular) com extrema cortezia, afirmando ao mesmo tempo que já tinha sido avisado da minha intenção de o acompanhar durante algumas horas.

11 Eu e o Sr. Ernesto despedimo-nos do grupo.

12 Passamos às traseiras do referido hangar onde, num grande terreiro, numa espécie de eira de grandes dimensões, se encontravam seis enormes camiões, quatro verdes e dois amarelos, com os motores já em funcionamento.

13 No ar sentia-se um cheiro que denunciava uma mistura de gasóleo com óleo e que eu já tinha detectado nas proximidades da pá carregadora “doente”. Porém, aqui, esse odor era muito mais intenso. À mistura havia uma temperatura anormal e localizada nas proximidades das traseiras de cada máquina. Dos escapes, de vez em quando, saíam golfadas de fumo negro.

14 Sr. Ernesto aproximou-se de um dos camiões amarelos e, acenando com a mão devido ao ruído, sugeriu que eu o acompanhasse.

15 Quando me encontrava já próximo das rodas do camião, senti que estas possuíam uma

dimensão nada de acordo com as que deduzi pela observação que de longe tinha realizado. Simplesmente eram mais altas do que eu.

16 Sentia o peito a vibrar como resultado da ressonância que todo aquele “animal” a trabalhar provocava no



ambiente em seu redor. Deve existir alguma relação entre o que senti e o que qualquer ser humano sentiria se estivesse, por momentos, partilhado a presença de um Alossauro à cerca de 180 milhões de anos.

17 Sr. Ernesto, depois de ter subido uns seis degraus de uma espécie de escada de bombeiro, abriu a porta da cabina do camião, afastou-se para um varandim que existia sobre o capô do motor e gritou:

18 - O Sr. Engenheiro pode subir.

19 Confesso que foi com alguma dificuldade e emoção que transpus aquele obstáculo.

20 Porém não me apetecia dar parte fraca. Subi, penetrei na cabina e fui alojar-me num assento imediatamente por trás daquele destinado a quem conduz o camião.

21 Uma primeira vista de olhos mostrou-me que tudo o que existia naquele habitáculo não correspondia ao que eu tinha imaginado para tal espaço. Julgava que, para dominar aquela máquina, tudo que fosse menos do que os painéis existentes no cockpit de uma avião ligeiro não seria suficiente. Nova surpresa. Na realidade, poucos instrumentos de controlo existiam, pedais só dois, e alavancas de comando eram três.

22 Sr. Ernesto fechou a porta da cabina, que no entanto, devido a um certo empeno, deixava uma frincha com razoáveis dimensões. Imediatamente se proporcionou um comentário do Sr. Ernesto que justificou a sua voz um pouco anasalada:

23 - Esta maldita frincha, nestes dias de frio, tem dado cabo de mim. É uma corrente de ar dos diabos. Pelo menos até o sol alevantar, vamos ter que gramar algum frio.

24 Sr. Ernesto carregou no acelerador a fundo, tendo estremecido imediatamente todo o camião. Ao mesmo tempo ouviu-se um forte ruído que os cuidados de insonorização não impediam de chegar aos nossos ouvidos.

25 Instintivamente deitei as mão às cantoneiras mais próximas temendo algum forte solavanco.

26 Mas tal não aconteceu.

27 Por uma das janelas da cabina vi que outros camiões já se deslocavam para fora do parque.

28 Uma das alavancas foi movimentada para a frente e eu deduzi que se tratava de um travão de bloqueio integral da máquina.

29 Com uma ligeira aceleração e com o accionar de uma outra alavanca, a das velocidades, a enorme viatura pôs-se em movimento. Não sei porquê, senti uma espécie de sensação de importância.

30 Lentamente fomos percorrendo o parque, de onde já três das viaturas já se tinham ausentado.

31 Nesse instante, uma sereia lançou um ruído prolongado e com frequência tal que certamente se ouviu a longa distância. Olhei para o relógio. Eram 8 horas em ponto.



32 Sr. Ernesto comentou:

33 - Aqui vamos nós.

34 Aproximei a cabeça do vidro que dá para o exterior da cabina e vi, de cima, a altura a que me encontrava do solo. As rodas chapinavam lama para os lados à medida que algumas poças com água iam sendo

esmagadas pelo peso de toneladas.

35 Seguimos por uma pista mais ou menos recta e com uma certa inclinação o que obrigava o Sr. Ernesto, em determinados momentos, a travar um pouco sentindo-se imediatamente um silvo como resultado da frenagem.

36 Percorridos cerca de 500 metros, junto às ruínas de um velho moinho construído em pedra, o Sr. Ernesto virou para a esquerda. Foi dando a curva e dizendo que era aquele moinho que dava o nome à quinta que ali existiu - a Quinta do Moinho. Detive o olhar na velha construção, mas imediatamente a minha atenção foi atraída em direcção à parte da frente do camião mais exactamente para a paisagem que se me oferecia. O caminho que seguíamos com horizontes de morfologia regular deu lugar a um enorme espaço, um vazio, bordejado por paredes que só não eram abruptas por possuírem degraus desde seu topo até à base. As dimensões daquela enorme escavação em granito, provavelmente de muitos anos de exploração, não eram traduzíveis por palavras. Um grande buraco semelhante a uma cratera. Só vendo.

37 Apeteceu-me reagir aquela visão, mas como não senti por parte do meu interlocutor nenhuma reacção a tal cenário, desviei a minha atenção com uma pergunta:

38 - Oh, Sr. Ernesto, isto é muito difícil de conduzir?

- 39 - Não, Sr. Engenheiro, é facilímo. É muito mais fácil do que conduzir um automóvel. É tudo automático. Só temos que ter a certeza que não andamos a roçar com isto pelas paredes nem sairmos das pistas. É que esta máquina é muito grande e larga.
- 40 - Mas então como foi que o Senhor aprendeu?
- 41 - Foi aqui na pedreira. Com outros colegas. Fui vendo e depois passei a conduzir eu. Nem carta é preciso para manobrar isto.
- 42 Com aquele diálogo iniciou-se um processo de relacionamento entre mim e o Sr. Ernesto extremamente interessante, com o qual muito aprendi.
- 43 Aquela cavidade na crusta atingia uma profundidade de cerca de 150 metros, e um diâmetro máximo á superfície de aproximadamente 450 metros.
- 44 Cá de cima, via-se um grande lago num canto do que parecia ser o piso inferior da pedreira.
- 45 As paredes denunciavam uma clara rede de fracturas, aparecendo em determinadas zonas alguns lisos de importante desenvolvimento.
- 46 As bancadas aparentavam uma geometria com algum rigor o que atestava planificação no desenvolvimento da exploração.
- 47 No granito via-se uma gradação de cor, desde os tons amarelos/avermelhados à superfície até aos cinzento/azulado nas bancadas mais inferiores.
- 48 Circundando a borda superior de toda a escavação, mantinham-se de pé vários eucaliptos, quais guardas permanentes daquele espaço.
- 49 Sr. Ernesto disse:
- 50 - O Sr. Engenheiro está a ver aquela pá lá no fundo? Onde está a chegar aquele camião? É lá o local de carga da pedra. É para lá que vamos.
- 51 Afirmei que sim, que via o local. Era a praça mais baixa da pedreira. Tendo a pá como referência vi que esse piso, de facto, estava a um nível inferior relativamente ao do tal lago artificial.
- 52 Perguntei se era o único local de carga ou se existia outro ponto onde estivessem a carregar. O Sr Ernesto disse que às vezes tinham outras bancadas a produzir, mas que por agora estavam a evacuar material só lá do fundo.
- 53 Na realidade viam-se, na base de algumas bancadas, montes de pedras desmontada e com granulometria que denunciava estarem prontos para serem levados para a central de britagem.

- 54 Fomos descendo por uma rede de pistas que nos levavam de bancada em bancada com destino ao fundo da pedreira.
- 55 Havia mais humidade no ar. Em certos pontos das paredes da escavação escorria água que nas pistas se canalizava por valas até níveis mais baixos.
- 56 Na generalidade sentia-se uma atmosfera mais escura e fria.
- 57 No penúltimo piso, passamos junto de uma máquina de perfuração que se encontrava a trabalhar com um ruído característico resultante da rotação e percussão do material de corte. Esse ruído chegou-me, pois sobrepôs-se ao do camião. Montinhos de pó de pedra, alinhado a igual distância entre si e posicionados paralelamente à frente do degrau mostravam que se estava a preparar um pega de fogo para desmonte. Alguns dos furos já realizados encontravam-se tapados com ramos de giesta. Ao passar junto do operador desta máquina e porque os nossos olhares se cruzaram acenei com a mão o que provocou imediata resposta do mesmo tipo. Reparei que o operador estava a trabalhar com auscultadores.
- 58 Quando descemos o último troço de rampa, já estava um camião carregado, iniciando a marcha em direcção a outro destino. Dos dois que se posicionavam à nossa frente, o que tinha chegado primeiro iniciou uma manobra de avanço e recuo para se colocar em posição para a pá carregadora sobre pneus o carregar. A carga não foi iniciada sem que a pá realizasse alguns movimentos de arrumação de algumas pedras que ainda estavam dispersas pela praça.
- 59 Perguntei ao Sr. Ernesto se tinha havido alguma pega de fogo antes do início do turno. Ele disse que tinha sido no fim do dia anterior.
- 60 Olhando por outra janela da cabina vi dois homens empoleirados sobre grandes blocos de granito desmontados. Ambos equilibravam na vertical martelos de perfuração. Com o pé apoiado numa corda suspensa dos manipulos ajudavam ao avanço do martelo tentando assim aumentar a velocidade de perfuração. Os blocos estavam a ser taqueados pois possuíam dimensão superior à permitida para o transporte e britagem primária. Via-se algum pó a escapar-se de dentro dos furos que lentamente aumentavam de comprimento.
- 61 Como tínhamos alguns minutos de espera, o Sr. Ernesto foi tratando de se inteirar das minhas intenções com aquela visita à pedreira.
- 62 Com palavras simples tentei explicar o que pretendia.

63 Entretanto o Sr. Ernesto, apercebendo-se que eu mantinha alguma atenção ao que se passava lá fora, pegou num molho de desperdícios, abriu a porta da cabina e limpou alguma lama seca que persistia sobre os vidros.

64 Agradei.

65 Olhando pelo lado oposto à minha posição na cabina vi, numa marcha lenta, o camião carregado que há alguns instantes tinha partido. No seu movimento sentia-se o esforço da máquina para vencer a inclinação da rampa de acesso ao piso imediatamente acima..

66 Um outro camião vazio vinha a descer.

67 Entretanto a pá carregadora encontrava-se a repetir um conjunto de movimentos; avanço até à pilha de pedra mais ou menos dispersa, carregamento da colher por meio de movimentos alternados desta, recuo descrevendo uma certa curva, avanço até ao camião e descarga do material dentro da caixa de carga. Não contei com precisão, mas fiquei com a sensação de que repetiu aquele ciclo mínimo umas seis vezes.



68 Quando o camião ficou carregado o operador da pá accionou uma buzina estridente e o motorista do camião, depois de uma aceleradela sem efeito, iniciou a marcha.

69 Estava com alguma pressa para sentir o “nosso” a ser carregado. Porém, estava um outro à frente e nestas coisas há

também que respeitar a vez.

70 Mas de repente reparei que acabava de chegar ao fundo da pedreira mais uma pá que, apesar de ser menor que a que estava já a operar, possuía uma caçamba que aparentava ser do mesmo tamanho. Eram de marcas diferentes.

71 Sr. Ernesto imediatamente iniciou a manobra de posicionamento para ser carregado por esta nova pá.

72 Ao mesmo tempo afirmou:

73 - Chegaste tarde ó Armindo! Pela cara deves ter dormido depressa ou então és do Sporting.

- 74 Sorri, dando a entender que percebi a afirmação. O Armindo, que naturalmente não ouviu, apitou para dizer que não era necessário recuar mais.
- 75 Entretanto já o terceiro camião estava quase cheio. O camião que tinha descido em último lugar estava imobilizado na zona empiricamente destinada a esperas.
- 76 Perguntei ao Sr. Ernesto o que era feito do sexto camião que estava a funcionar quando saímos do parque de estacionamento. Ele disse que, com certeza, teria ido à oficina. No fim do dia anterior tinham detectado uma cavilha a soltar-se.
- 77 Com algum esforço, olhando muito de lado, conseguia ver os movimentos da pá com o objectivo de carregar o nosso camião.
- 78 No momento da descarga da primeira colherada, a cabina abanou, os calhaus caíam brutalmente na caixa violentando tudo. O Sr. Ernesto continuava impávido e sereno como se nada estivesse a acontecer.
- 79 Perguntei-lhe:
- 80 - Sr. Ernesto, quantas toneladas carrega este camião?
- 81 Ele respondeu:
- 82 - Olhe, dizem que é para 32 toneladas, mas eu tenho a certeza de que leva mais. Às vezes até aqui por cima da cabina, naquela chapa da caixa, vê, até ali leva material. Portanto pode chegar às 40 toneladas.
- 83 Convenhamos que é muito peso.

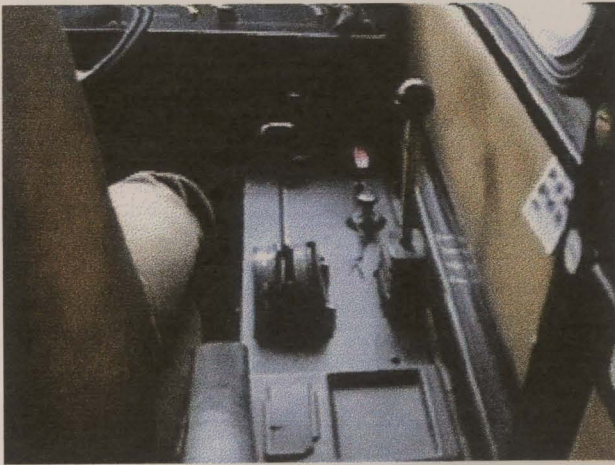


- 84 As sucessivas descargas de material na caixa do camião iam-se fazendo com menos barulho devido ao efeito de almofada que o material já carregado provocava.
- 85 Terminada a operação de carga soou o apito da pá. Podíamos

partir.

- 86 Depois de engatar a alavanca de velocidades numa certa posição, o motor deu sinal de início de uma tarefa em que o ia colocar à prova.

- 87 Mal iniciamos o movimento para a viagem de ida até outro destino, o local de descarga, senti que as oscilações de toda a viatura eram muito mais suaves e lentas do que as que anteriormente se sentia, nomeadamente quando as rodas venciam alguma pequena perturberância do piso dos patamares. Sentia-se uma certa inércia nesses movimentos.
- 88 Mal atingimos a base da primeira rampa, no painel de comando acendeu uma luz.
- 89 Sr. Ernesto afirmou:



- 90 - Anda para a frente. Puxa aí que foi para isso que te fizeram.
- 91 Eu perguntei:
- 92 - As mudanças são então automáticas?
- 93 - São sim, Sr. Engenheiro. A gente só tem que carregar no acelerador. Claro que nós sentimos se estamos a forçar ou não o motor.

Mas quando é preciso elas lá entram.

- 94 A velocidade era lenta e muito constante. Notava-se o esforço comedido da máquina.
- 95 Mal chegamos ao cimo do patamar, notou-se um pequeno solavanco e um ligeiro aumento da velocidade. Novamente voltamos a uma velocidade constante.
- 96 O percurso foi realizado sem novidades, exceptuando uma chegada a um piso onde um camião aguardava que transpuséssemos a respectiva rampa que lhe dava acesso. Aí, o Sr. Ernesto abriu a janela da cabina e porque a velocidade uniforme e lenta permitia, disse berrando:



- 97 - Ei Gerónimo, então estás satisfeito com a vitória? O Domingos é um espectáculo. Somos os maiores.
- 98 Gerónimo acenou com desprezo e sorriu.
- 99 - Sabe, Sr. Engenheiro, aquele é Sportinguista ferrenho. Nós cá somos do Porto. A nossa vitória de ontem foi um

espectáculo.

100 Senti a importância social da afirmação.

101 Depois de passarmos sem alterar o ritmo de marcha, o Gerónimo arrancou e continuou o seu percurso até ao fundo da pedreira.

102 Continuamos até que entramos num tramo de pista comprido e inclinado que desembocava numa rotunda em patamar. Desta rampa tinha uma visão à esquerda sobre a exploração a céu aberto e à direita sobre um conjunto complexo de telas transportadoras, crivos, máquinas de fragmentação e silos de produto final. Sob alguns deles, camiões de caixa aberta recebiam esses produtos através de descarregadores de base.



103 Aqui já o sol incidia sobre a cabina do camião, fazendo-se sentir de imediato uma alteração da temperatura no seu interior.

104 Ao chegarmos ao fim da rampa estacionamos atrás de um camião imobilizado.

105 Um outro tinha a sua caixa na posição vertical junto de uma tolva que se encontrava a um nível inferior à referida rotunda.

106 Virei-me mais para observar a zona a jusante dessa tolva.

107 Via-se uma longa tela transportadora em movimento.

108 Do seu topo, o material granulado que transportava precipitava-se na vertical sobre uma enorme pilha em forma de cone. Era o conhecido pré-stock.

109 O britador primário não era visível da posição em que me encontrava.

110 O camião basculou a caixa para a posição horizontal e arrancou.

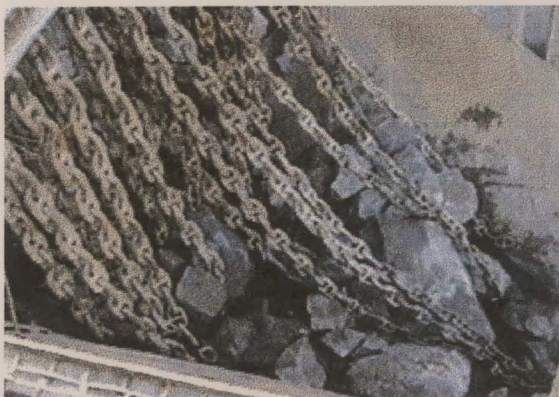
111 Deu uma ligeira curva para a esquerda, retomando a pista de regresso à pedreira com uma velocidade algo exagerada.

112 O camião verde arrancou, curvou para a esquerda, parou e recuou até à plataforma de descarga imobilizando-se.

113 Agora já podia observar melhor a tarefa de descarga.

- 114 Acelerando o motor do camião, a sua caixa foi subindo lentamente sendo possível ver os blocos de granito, misturados com material de menor calibre, escorregarem e precipitarem-se dentro da tolva.
- 115 A descarga foi relativamente rápida.
- 116 Arrancou ainda com a caixa em movimento de descida.
- 117 Fiquei com a sensação de que estes arranques eram realizados com velocidade um pouco elevada. Seria pelo facto de terem um rampa a descer à sua frente?
- 118 Chegou a nossa vez.
- 119 Avançamos e recuamos.
- 120 Antes de nos imobilizarmos, senti os rodados traseiros subirem ligeiramente uma pequenina rampa e chocarem em algo. Rapidamente desceram para uma posição anterior.
- 121 Perguntei ao Sr. Ernesto se se tratava de uma protecção de segurança. Ele disse que sim, mas também disse que não era necessário, pois os retrovisores permitiam ver onde parar.
- 122 Disse para os meus botões:
- 123 - Ainda bem que a protecção esta lá!
- 124 Olhei para trás para me aperceber do levantamento da caixa.
- 125 Porém esse levantamento não se operou de imediato.
- 126 Sr. Ernesto olhava para uma espécie de semáforo que estava colocado à esquerda do camião. As lâmpadas estavam protegidas por meio de uma grelha de ferro.
- 127 Passados alguns instantes, uma luz acendeu e, instintivamente, o Sr. Ernesto movimentou a terceira alavanca em que nunca antes tinha mexido e o motor acelerou.
- 128 Olhei para trás e então observei o movimento da caixa subindo e mostrando consecutivamente vários tramos de êmbolo que surgiam de forma telescópica. Era o braço de basculamento.
- 129 Os blocos iam caindo e originando um ruído semelhante a correntes metálicas chocando umas com as outras.
- 130 Terminada a descarga, também ainda com a caixa do camião fora da posição horizontal de repouso, arrancámos em direcção à pedreira.
- 131 A velocidade de deslocação é então maior, o que me obrigou (por precaução) a colocar as mãos nas tais cantoneiras a que já me referi.

- 132 À medida que a velocidade iam aumentando, sentiam-se os travões a exercerem uma acção contrária e ao mesmo tempo os nossos corpos eram impelidos para a frente.
- 133 Nas várias curvas que fazíamos sentiam-se as suspensões da máquina a ranger.
- 134 Não havia dúvida de que esta viagem de regresso à pedreira se fazia muito mais rapidamente do que a de acesso à tolva de descarga.
- 135 No cimo de duas das rampas entre pisos da pedreira tivemos que parar para não impedir a passagem de camiões que carregados subiam lentamente e a velocidade constante.
- 136 Chegamos novamente ao local de carga.
- 137 E foi repetindo este ciclo de actividades que passei toda a manhã, entremeando conversas interessantes e esclarecedoras com o meu “chauffer” simpático e bom profissional.
- 138 Ainda antes de terminar este meio turno, mas já muito próximo da hora de almoço (que já me apetecia desde meio da manhã) abandonei a viatura e dirigi-me até junto do britador primário para o observar de perto.



- 139 Agora podia ver por baixo a tolva de armazenamento.
- 140 Era uma “caixa” em forma de pirâmide invertida, feita de betão armado onde faltava um dos lados e o vértice superior. O lado em falta era substituído por uma cortina de correntes de grandes elos de ferro.
- 141 Na base da tolva (na zona do vértice em falta) existia uma espécie de lagarta accionada por uma grande roda dentada que se destinava a arrastar o material depositado para dentro do britador primário. O movimento intermitente deste alimentador de arrasto era comandado por um operário que se encontrava numa cabina de onde via toda a área de britagem.
- 142 O britador, de dimensões que me pareciam descomunais, era do tipo giratório. Um enorme pilão cónico oscilava suavemente, como se de uma bailarina se tratasse. Isto, se não estivesse nenhum material dentro dele a ser britado. Mal algum matacão se precipitasse no interior da câmara de fragmentação, iniciava-se então um processo irreversível e de alguma violência.

Cada bloco não mais poderia sair desse espaço e só tinha um destino: fragmentar-se até dimensões que lhe permitisse sair pela base.

143 Durante os minutos em que estive a observar aqueles aparatos a funcionar, num certo instante caiu um grande bloco que não pode penetrar na câmara de fragmentação. Era necessário dar-lhe um pequeno toque para que se libertasse da estrutura de protecção superior do britador (a aranha). Tudo teve que parar.

144 Tornou-se imprescindível o concurso de um braço de retroescavadora ao qual estava acoplado um martelo de impacto.



145 A ponteira do martelo teve que, várias vezes, tocar no bloco de granito, com o intuito de o movimentar para outra posição que lhe permitisse entrar no britador.

146 Esta operação durou alguns cinco minutos, o suficiente para eu olhar para a rampa de acesso ao local de descarga e ver o meu amigo, Sr. Ernesto, no fim de uma fila de

espera de quatro camiões imobilizados.

147 Este foi um “ponto de vista” da realidade onde se insere o nosso Problema Primário.

148 Tratou-se de uma realidade apreendida e descrita quase exclusivamente ao nível do que se vê, ouve e sente; o que se descreve vem a ser essencialmente o conjunto de percepções colhidas quando o ciclo de actividades é acompanhado (“visto”) do seu próprio interior.

149 Neste momento pretendemos concluir levantado a nós mesmo a questão dos inúmeros pontos de vista possíveis que podem permitir conhecer melhor esta realidade - que apesar de construída pelo homem - se encontra repleta de nuances desconhecidas.

Artigo
Análise de Sistemas de Carga e Transporte:
Uma abordagem determinística

Análise de Sistemas de Carga e Transporte: Uma abordagem determinística

por

Henrique S. B. Miranda e Alexandre J. M. Leite
FEUP - Dep. Minas

Objectivo

O trabalho que agora se apresenta pretende divulgar parte dos resultados de uma linha de investigação no âmbito da análise de Sistemas de Carga, Transporte e Armazenamento que se encontra em desenvolvimento no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Encontrando-nos na posse de alguns algoritmos de simulação de tais sistemas (adequados a explorações a céu aberto) que, para além da sua utilidade técnica, possuem certo valor heurístico possibilitador de clarificação de conceitos muitas vezes não detectáveis por observação dos sistemas industriais, achamos importante a sua divulgação.

Dada a simplicidade de um desses algoritmos e a sua possível imediata aplicabilidade às explorações industriais ou mesmo ao nível do projecto, decidimo-nos a apresentá-lo não deixando de referir que este se encontra em fase de aperfeiçoamento.

Numa primeira parte serão abordados os principais fundamentos conceptuais e suportes matemáticos do modelo.

Com base num exemplo simples, tentaremos reflectir sobre um conjunto de conceitos que consideramos fundamentais para a compreensão e domínio do desempenho do sistema.

Na fase final, tentaremos uma validação dos resultados do presente modelo baseada no confronto com os resultados de um modelo probabilístico já fortemente testado, realçando-se alguns pormenores comuns apesar da natureza conceptualmente distinta dos modelos em apreço.

Considerações prévias e fundamentação do modelo

O dimensionamento de frotas de carga e transporte assenta tradicionalmente numa condição de balanceamento entre unidades de carga e transporte a estabelecer mediante o sincronismo de operação, entendendo este como o modo organizativo que garantiria que jamais uma unidade de transporte averbasse esperas junto de uma unidade carregadora. Por outras palavras, no desempenho de um tal sistema (perfeito, porque síncrono) haveria sempre uma unidade de transporte em curso de carregamento. Nestas condições, gerar-se-ia um fluxo contínuo de material entre unidades carregadoras e transportadoras, implicando igualdade entre produção realizável por cada pá carregadora e a capacidade de produção da frota unidades transportadoras por ela servida. Quer dizer:

$$C_p \frac{1}{TCM(P)} R_p = N_c C_c \frac{1}{TCM(C)} R_c$$

$$R_p = R_c = 100\%$$

$$C_c = n C_p$$

$$N_c = \frac{TCM(C)}{n TCM(P)} = \frac{TCM(C)}{TC} (*)$$

C_p - Capacidade da colher das Pás
 C_c - Capacidade das caixas dos Camiões
 R_p - Rendimento ou Índice de utilização das Pás
 R_c - Rendimento ou Índice de utilização dos camiões
 N_c - Número de camiões
 n - Número de ciclos elementares das pá para encher um camião
 $TCM(P)$ - Tempo de ciclo mínimo das pás
 $TCM(C)$ - Tempo de ciclo mínimo dos camiões
 TC - Tempo de carga

Neste esquema de cálculo, admite-se que os rendimentos são unitários porque, caso contrário, um dos equipamentos (a unidade carregadora ou a frota de unidades transportadoras) averbaria tempos perdidos ao longo dos respectivos ciclos de actividade.

Tudo dependendo dos valores de $TCM(C)$ e de TC , o valor de N_c fornecido por (*) pode não ser inteiro. Em geral não o é, pelo que a necessidade de assegurar a produção desejada obriga fatalmente à adopção do inteiro imediatamente superior a N_c como dimensão mínima da frota de transporte. Mas, nestas condições, diz-nos a mesma relação (*) que, ao adoptar $N'_c > N_c$ surge imediatamente um novo valor do tempo de ciclo, um tempo de ciclo efectivo $TCE(C)$ maior que $TCM(C)$.

Quer dizer, mesmo admitindo a hipótese de que seriam perfeitamente controláveis todos os factores que tornam variáveis os tempos de actividade e que, portanto, o sistema funcionaria com regularidade metronómica, nem mesmo assim se eliminariam os tempos de inactividade (tempos de perda em esperas). Esta inevitabilidade decorre do facto de que equações do tipo (*) põe em confronto dois tipos de variáveis: os tempos, que são variáveis contínuas, e as dimensões das frotas de carga e transporte (N_c e N_p) cujas são variáveis discretas.

O nosso enfoque do problema caracteriza-se pelo abandonar do simplismo traduzido na admissão de valores unitários para rendimentos dos equipamentos: admitimos, portanto, que estes possam ser quaisquer ($R_p \leq 1$, $R_c \leq 1$, $R_p \neq R_c$); e, por outro lado, se por produção entendermos a quantidade de material que num dado lapso de tempo (um relevo de duração $TR = 7$ horas, por exemplo) pode ser carregado, transportado e descarregado por operação conjunta de N_c unidades de transporte e N_p unidades de carregamento, uma coisa é óbvia: a produção realizada pelas N_p pás durante o relevo é necessariamente igual à produção de N_c camiões durante o mesmo lapso de tempo. Por outras palavras, a igualdade que gera a relação (*) escrever-se-á então

$$Q_p = Q_c$$

$$C_c \frac{N_p TR}{TCM(P)} R_p = C_c \frac{N_c TR}{TCM(C)} R_c$$

$$R_p = \frac{TCM(P)}{TCE(P)}$$

$$R_c = \frac{TCM(C)}{TCE(C)}$$

$$\frac{N_c}{N_p} = \frac{TCE(C)}{TCE(P)} \quad (**)$$

expressão que constitui a relação fundamental de equilíbrio de um sistema de carga e transporte.

Para uma dada produção previamente estipulada $Q = Q(P) = Q(C)$, exprimível mediante as duas equações

$$Q(p) = Cc \frac{NpTr}{TCE(P)}$$

$$Q(c) = Cc \frac{NcTr}{TCE(C)}$$

há que determinar quatro grandezas à partida desconhecidas: Nc, Np, TCE(C) e TCE(P). Perante a escassez de equações para o número de incógnitas em presença, só resta um recurso com vista à fuga a esquemas de cálculo por tentativa-e-erro: a montagem de uma rotina de cálculo iterativo capaz de:

- fornecer os valores mínimos de Nc e Np para a produção Q pretendida
- destrinçar os valores concretos de TCE(C) e TCE(P) dentre a infinidade de pares de valores de TCE(C) e TCE(P) capazes de satisfazer a relação (***) - os tempos de ciclo são variáveis contínuas, não esquecer.

Caracterização sucinta do sistema simulado

Consiste em um conjunto de pás carregadoras e de camiões que, operando em dada pedreira ou exploração mineira a céu aberto, asseguram a transferência de um certo volume (Q) de material diariamente gerado numa frente de desmonte para uma tolva de capacidade ilimitada (pilha ou "stack").

Como tempos de actividade produtiva e não produtiva (esperas) das unidades móveis intervenientes, há a considerar os seguintes.

Pás carregadoras:

TC - Tempo de Carga: o tempo necessário para efectuar a carga completa de um camião de capacidade Cc.

Sendo Cp a capacidade da colher da pá carregadora, o enchimento da caixa do camião exige

$n = Cc / Cp$ ciclos mínimos (t_{cmin}) da pá carregadora:

$$TC = n t_{cmin}$$

TA - Tempo de Arrumação: tempo despendido por cada pá, à cabeça da operação de carga propriamente dita, na recollecção e ajeitamento do escombro e no afastamento de blocos (matacões) de dimensões proibitivas, tendo em vista proporcionar uma execução tão pouco perturbada quanto possível dos n ciclos elementares (t_{cmin}) de carregamento.

TEP - Tempo de Espera das Pás: tempo de inactividade decorrente da eventualidade de, após a efectuação da Arrumação, não haver ainda qualquer camião aguardando carga. Será o lapso de tempo decorrido entre o final da Arrumação e o instante em que um camião se apresenta para a carga.

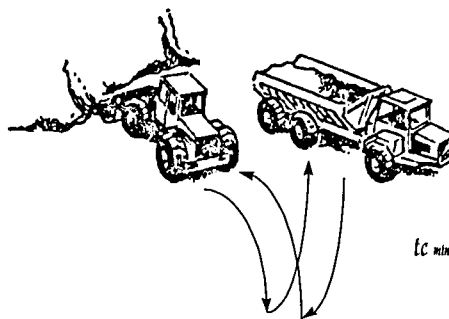
Sub-Sistema de Carga

$$TC = n \cdot t_{cmin}$$

$$n = Cc / Cp$$

TA = Tempo de
Arrumação

TEP = Tempo de
Espera

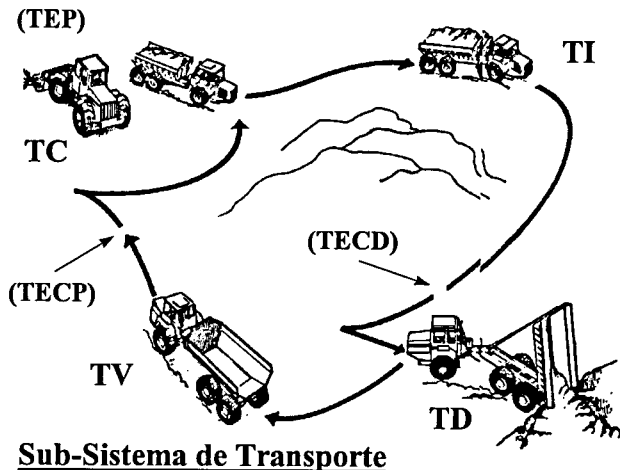


$$TCE(P) = TC + TA + TEP$$

Camiões:

TC - tempo de carga: já referido, é o tempo comum ao ciclo da pá e do camião, na medida em que a operação de carga constitui o elo físico entre os Sub-sistemas de Carga e Transporte.

TI - Tempo de Ida do camião à descarga: tempo de viagem entre a frente de desmonte e uma vizinhança imediata da tolva (pilha).



TECD - Tempo de Espera do

Camião na Descarga: a inevitabilidade da ocorrência de esperas no desempenho de sistemas reais pode determinar a formação de filas de espera junto da tolva (mormente se esta for tal que, embora com capacidade infinita, não consinta a descarga simultânea de varias unidades transportadoras)

TV - Tempo de Volta do camião à frente de desmonte: tempo de viagem entre a tolva e uma vizinhança imediata do local de carregamento.

TECP - Tempo de Espera do Camião na Carga: tempo de espera decorrente da eventualidade de formação de filas-de-espera de camiões junto da pá carregadora.

$$TCE(C) = TC + TI + TECD + TD + TV + TECP$$

Uma vez que o modelo determinístico não permite a destrição entre tempos TECD e TECP, estes serão designados globalmente por $AATC(C) = TECD + TECP$, acréscimos absolutos do tempo de ciclo do camião. Quer dizer,

$$TCE(C) = TC + TI + TD + TV + AATC(C)$$

Analogamente, faremos, para as pás carregadoras, $TEP = AATC(P)$, acréscimos absolutos do tempo de ciclo das pás. Deste modo,

$$TCE(P) = TCM(P) + AATC(P)$$

Índices de Desempenho

Com o objectivo de acompanhar o desempenho do sistema invocam-se os dois índices de utilização $IU(C)$ e $IU(P)$ coincidentes na sua definição com a noção clássica de Rendimento das pás e dos camiões.

$$IU(C) = RC = \frac{TCM(C)}{TCE(C)}$$

$$IU(P) = RP = \frac{TCM(P)}{TCE(P)}$$

O Algoritmo Recorrente

O algoritmo que representa o modelo apresentado é de carácter recorrente no sentido de que, por aproximações sucessivas nos encaminhamos para uma situação desejável. Vejamos como se processa a recorrência:

- A partir de uma produção estipulada (Q) e da capacidade do camião (Cc), determina-se o número total de cargas necessárias para realizar aquela produção ($NCN = Cc/Cp$) e, com base neste valor, inferem-se as quantidades fictícias (porque não inteiras, em geral) de camiões (Nc) e das pás carregadoras (Np) necessárias para o efeito. Para os valores iniciais Nc(0) e Np(0), verifica-se exactamente a relação

$$\frac{N^c(0)}{N^p(0)} = \frac{TCM(C)}{TCM(P)} = \frac{TCE(C)_0}{TCE(P)_0}$$

- Passa-se seguidamente a valores de Nc e Np iguais aos inteiros imediatamente superiores, respectivamente, a Nc(1) e a Np(1), o que implica que a relação anterior deixa de verificar-se, convertendo-se numa relação da forma genérica (**)
- Surge, conseqüentemente, a necessidade de calcular TCE(C) e TCE(P), o que somente pode fazer-se de modo recursivo. Todo o algoritmo está estruturado neste sentido.
- Obtidos, em cada iteração, os valores dos ciclos efectivos, ficamos habilitados (por invocação de NCN, grandeza cujo valor se mantém obviamente constante ao longo de todo o cálculo recorrente) a determinar novos valores fictícios Nc(2) e Np(2) (em geral maiores que os antecedentes) os quais, quando não inteiros, por sistema substituímos pelos inteiros imediatamente superiores.
- Repete-se este procedimento tantas vezes quantas as necessárias para que resulte nula a diferença (Q(C) - Q(P)) entre as produções realizáveis, com os ciclos em cada iteração calculados, pelos camiões e pelas pás. Neste momento, os valores dos ciclos efectivos estão ajustados, isto é, são tais que verificam exactamente a relação (**) com Nc e Np assumindo valores inteiros finais.

O algoritmo resultante possui estrutura extremamente simples, caracterizando-se por grande rapidez de convergência e elevada precisão dos resultados finais.

Implementação do Algoritmo

Esta metodologia de análise foi por nós implementada sobre um “folha de cálculo”, recorrendo à programação “macro” para facilitar quer o cálculo recorrente quer a elaboração de tabelas e gráficos.

DADOS DE ENTRADA	
TCM(C)	1056.200
TCM(P)	364.400
n	8
TR	25200
Q	745
Cc	6
Cp	0.75
TC	334.4
TI	400.68
TD	62.3607
TV	258.759
TA	30
tCmin	41.8

Um bloco de entrada de dados permite a inserção de valores de Tempo de Relevio (TR), de produção desejada (Q), de tempos de tarefa e capacidades de camiões e pás. Com base no Tempo de Ciclo Mínimo (t_{cmin}) da operação de carga, é determinado o Tempo de Carga (TC) respectivo. Os Tempos de Ciclo Mínimo das pás e camiões são imediatamente calculados e disponibilizados para os cálculos recorrentes.

RESULTADOS			
NP	2	TCE(P)	405,906
NC	6	TCE(C)	1217,72
		IU(C)	86,736
		IU(P)	89,7745
Tempos Totais Perdidos por Camião			161,518
Tempos Totais Perdidos por Pá			41,506
Produtividade Camião			0,03715
Produtividade Pá			0,14456

Uma primeira tabela resumida de resultados aparece com o formato que se pode observar na figura, sendo de destacar nesta os valores de Np e Nc que permitem obter a produção desejada à partida.

Na posse desta metodologia de cálculo, podemos agora variar a produção de um valor mínimo até um máximo, mediante um passo de evolução. Recorrendo a “macros” previamente implementadas, surge uma tabela como a que apresentamos de forma reduzida:

Mapa de Resultados

Prod	Frota		Tempos de Ciclo Efectivo		Indices de Utilização		Tempos Perdidos		Produtividades	
Q	NP	NC	TCE(P)	TCE(C)	IU(C)	IU(P)	AATC(C)	AATC(P)	PDV(C)	PDV(P)
125	1	1	1209,6	1209,6	87,31809689	30,12566138	153,4003	845,2	0,0391134	0,0070989
130	1	1	1163,076923	1163,076923	90,81082077	31,33068783	106,877223	798,676923	0,0561392	0,0075124
135	1	1	1120	1120	94,30354464	32,53571429	63,8003	755,6	0,0940434	0,0079407
140	1	1	1080	1080	97,79626852	33,74074074	23,8003	715,6	0,2520977	0,0083846
145	1	2	1042,758621	2085,517241	50,6444962	34,9457672	1029,31754	678,358621	0,0058291	0,0088449
150	1	2	1008	2016	52,39085813	36,15079365	959,8003	643,6	0,0062513	0,0093226
155	1	2	975,483871	1950,967742	54,13722007	37,35582011	894,768042	611,083871	0,0067056	0,0098186
160	1	2	945	1890	55,88358201	38,56084656	833,8003	580,6	0,007196	0,0103341
270	1	2	560	1120	94,30354464	65,07142857	63,8003	195,6	0,0940434	0,0306748
275	1	2	549,8181818	1099,636364	96,04990658	66,27645503	43,4366636	185,418182	0,1381322	0,0323593
280	1	2	540	1080	97,79626852	67,48148148	23,8003	175,6	0,2520977	0,0341686
285	1	2	530,5263158	1061,052632	99,54263046	68,68650794	4,85293158	166,126316	1,2363661	0,0361171
290	1	3	521,3793103	1564,137931	67,52599493	69,89153439	507,938231	156,97931	0,0118125	0,0382216

A partir destas tabelas produzem-se gráficos correspondentes às diversas variáveis com interesse para a análise.

Alguns gráficos com resultados

Não esquecendo que os resultados que agora passaremos a apresentar são relativos a uma situação particular, embora baseados em alguns dados oriundos de uma unidade industrial em laboração, poderemos retirar algumas ilações interessantes da análise dos mesmos.

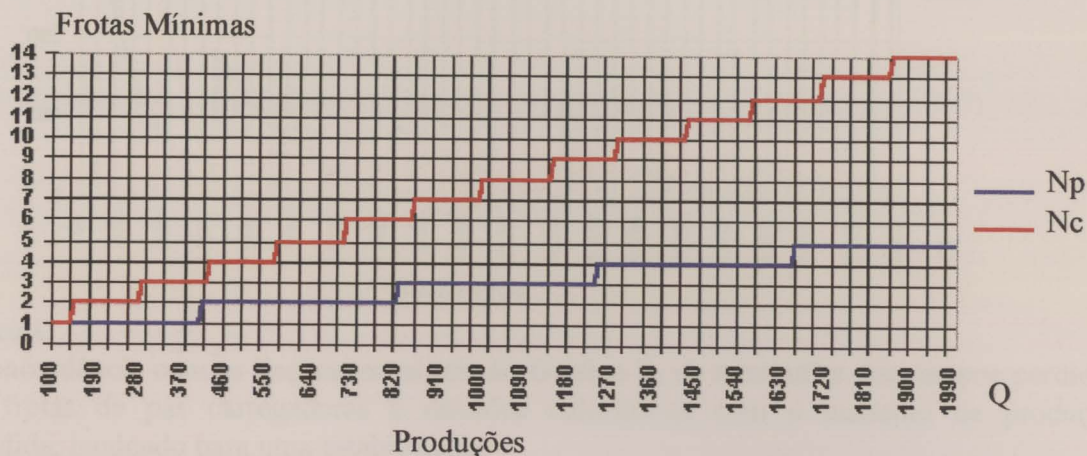


Gráfico A

Uma mesma frota de caminhões e de pás carregadoras é capaz de assegurar produções diversas. Com o aumento da produção, um mesmo número de pás carregadoras atende um número crescente de caminhões.

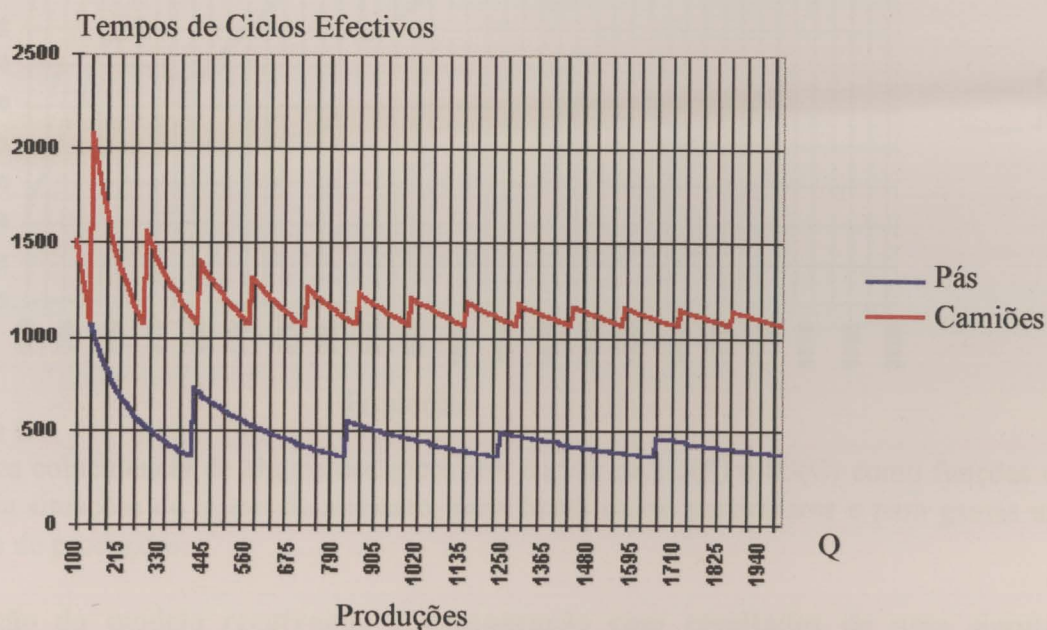


Gráfico B

Observa-se uma tendência para a estabilização dos tempos de ciclos efectivos com o aumento da produção e consequente aumento das frotas necessárias.

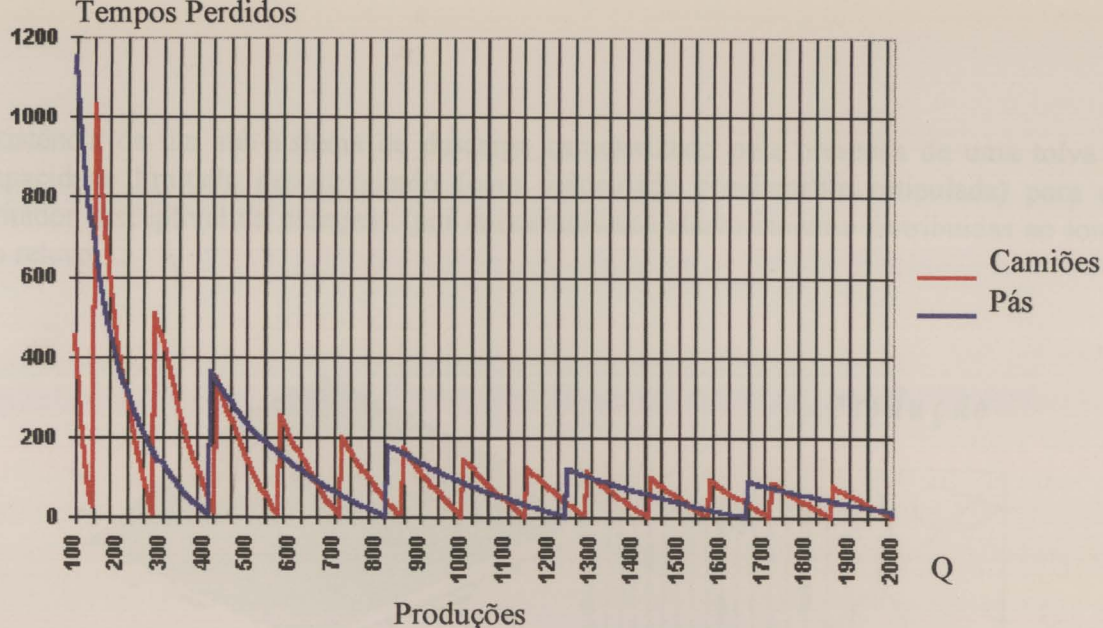


Gráfico C

Em concordância com as ilações extraíveis do Gráfico B, os montantes dos tempos perdidos pelas frotas de pás carregadoras e camiões reduzem-se com o aumento da produção pretendida, tendendo para uma estabilização

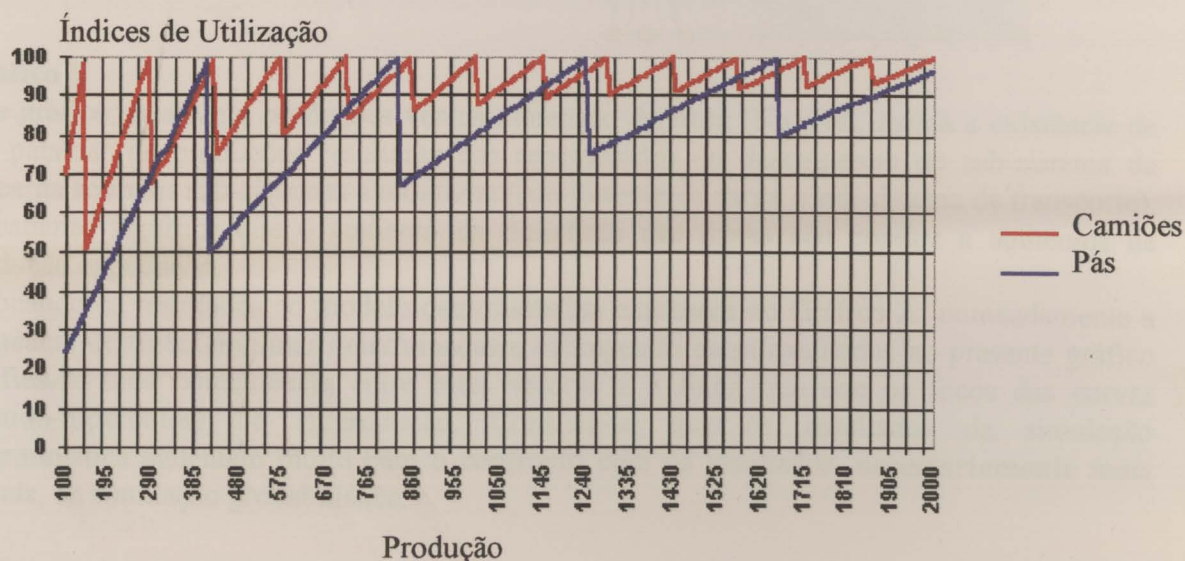


Gráfico D

A prática coincidência de alguns dos picos das curvas de $IU(P)$ e $IU(C)$ como funções de Q denuncia situações de quase sincronismo, para frotas muito particulares e para gamas muito estreitas de produções.

Validação do modelo recorrendo à comparação com resultados de uma simulação probabilística

Em paralelo com a construção e exploração do modelo que apresentámos, uma análise semelhante foi realizada sobre um outro modelo com estrutura probabilística. Este último simula o desempenho de um sistema caracterizado por:

- variabilidade dos tempos de actividade (tempos caracterizados por uma determinada média, uma dispersão em torno dessa média e com histogramas de frequências de ocorrência substituídos, com muito bom ou excelente ajustamento, por leis de probabilidade consagradas).

- existência de um sub-sistema de descarga caracterizado pela presença de uma tolva de capacidade limitada descarregando (com velocidade previamente estipulada) para um britador susceptível de paragens (por encravamento) aleatoriamente distribuídas ao longo do relevo.

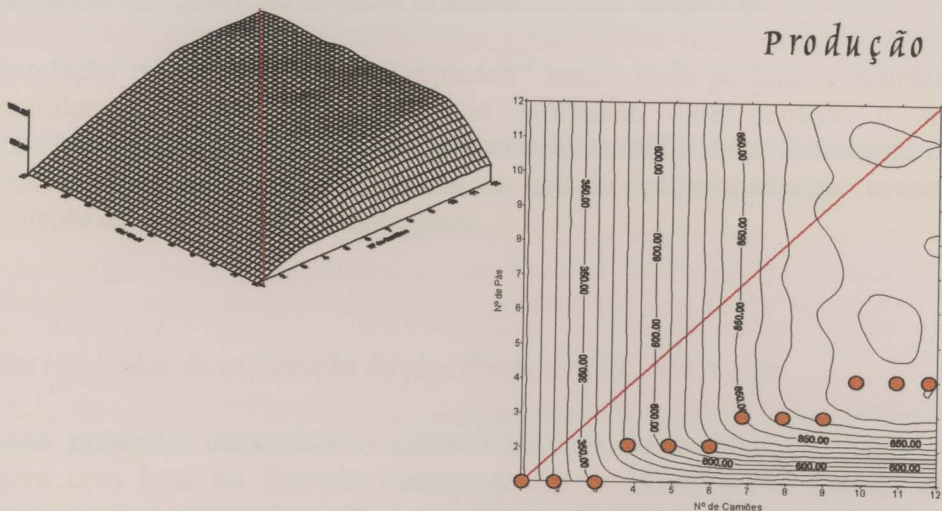


Gráfico E

Este gráfico, relativo a produções versus dimensão da frota (N_p , N_c), realça a existência de um patamar de produções resultante das repercussões do desempenho do sub-sistema de descarga sobre os sub-sistemas a montante (sub-sistema de carga e sub-sistema de transporte). O patamar significa que o aumento da dimensão das frotas não conduz a aumentos da produção expectável.

Invocando os resultados do modelo determinístico expressos no Gráfico A, nomeadamente a sequência de frotas mínimas determinadas e sobrepondo esses resultados no presente gráfico verifica-se uma coincidência entre estes valores e a linha que une os focos das curvas (pseudo-hipérboles) de isoprodução. Constata-se que os resultados da simulação determinística aguentam muito bem o confronto com os resultados, **necessariamente mais fiáveis**, da simulação probabilística.

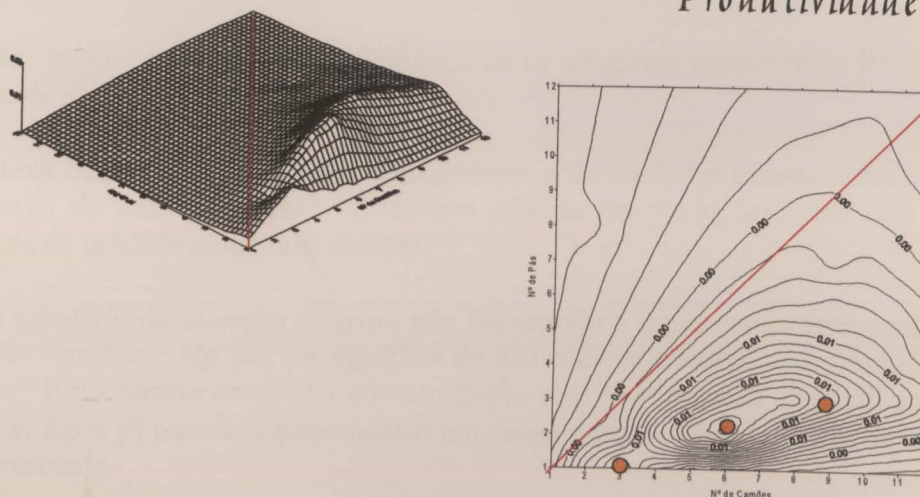


Gráfico F

Definindo uma produtividade como o quociente entre a produção global conseguida por uma dada frota de pás e camiões e o somatório dos tempos perdidos durante o relevo pelas unidades que integram essa frota, é possível gerar um gráfico de produtividades versus pares (N_p , N_c) como o da figura. Observam-se picos de produtividade para um número restrito de pares (N_p , N_c). Tais pares praticamente coincidem com os pares de valores (N_p , N_c) que estão associados as coincidências de picos já assinalados no Gráfico D.

Sendo a simulação probabilística uma “approach” muito mais perfeita à realidade que se pretende simular, a prática coincidência de resultados deste modelo e do modelo determinístico comprova que o algoritmo apresentado constitui uma ferramenta certamente mais rigorosa do que os esquemas clássicos de cálculo tradicionalmente invocados para dimensionamento de frotas de carga e transporte.

Conclusões

A análise dos resultados da exploração do algoritmo permite inferir que:

- É falacioso pretender determinar o número mínimo de camiões a agregar a uma pá carregadora com base na fórmula tradicional $N_c = TCM(C)/TC$: mesmo em regime determinístico, os tempos de ciclo a considerar deverão ser sempre tempos de ciclo efectivos ($TCE(C)$) e não tempos de ciclo mínimos ($TCM(C)$).
- A condição de sincronismo que subjaz ao estabelecimento da sobredita fórmula somente seria satisfeita para situações altamente improváveis na prática, traduzidas pela verificação **exacta** da relação

$$\frac{N_c}{N_p} = \frac{TCM(C)}{TCM(P)}$$

- A relação fundamental a invocar na estruturação de esquemas de cálculo minimamente fiáveis para dimensionamento de frotas deve, portanto, ser

$$\frac{N_c}{N_p} = \frac{TCE(C)}{TCE(P)}$$

cuja traduz implicitamente a impossibilidade de se atingirem rendimentos $RP = RC = 100\%$ (condição de sincronismo perfeito).

- Com uma dada frota de unidades carregadoras e de unidades transportadoras é possível a realização de uma gama mais ou menos extensa de produções, mas com rendimentos distintos da unidade e distintos entre si.
- Como corolário da asserção anterior, não faz sentido a interrogação (frequente na prática): com N_c camiões e N_p pás carregadoras de dadas características, que produção é possível realizar? É necessário completar a interrogação com a estipulação de rendimentos mínimos ($R_c \leq x$, $R_p \leq y$) para os equipamentos em causa porque, caso contrário a resposta resulta indeterminada.

- O gráfico (D) permite vislumbrar aproximações ao sincronismo denunciadas pela quase coincidência ou muito razoável vizinhança de picos das curvas em dente-de-serra aí figuradas.

Ocorrem, como se vê, para configurações $N_c/N_p = 3/1, 6/2, 9/3, 12/4$ porque (no âmbito da análise **casuística** efectuada) se verifica ser

$$\frac{N_c}{N_p} \approx \frac{TCM(C)}{TCM(P)}$$

A proximidade dos picos significa que, **para dadas produções**, a igualdade

$$\frac{N_c}{N_p} = \frac{TCE(C)}{TCE(P)} = \frac{TCM(C)+AATC(C)}{TCM(P)+AATC(P)}$$

é verificada para valores muito baixos dos acréscimos de tempo dos ciclos AATC(C) e AATC(P): é este facto que explica a circunstância de os índices de utilização de ambos os equipamentos se situarem simultaneamente muito próximos de 100%. Não obstante, a verificação simultânea de $RC = RP = 100\%$ jamais ocorre.

- O algoritmo é susceptível de modificação com vista a
 - abarcar sistemas mais complexos, integrados ainda por um sub-sistema de descarga materializado por uma tolva com capacidade limitada, antecedendo um britador susceptível (como é obvio) de paragens esporádicas ao longo do relevo.
 - contemplar, à cabeça, restrições aos rendimentos dos equipamentos ($RP \neq RC < 1$), assim se adequando a pesquisa das frotas mínimas necessárias às condições reais vigentes em dado período de vida de uma pedreira ou exploração mineira.

Anexo
A listagem do Programa

```

1 PROGRAM DIMITOLVA_150396(input,output);      {ALEX9601.PAS}
2  USES
3    winCRT;
4  const
5    nmaxdump_mais_pas = 28;
6    xgamamax = 34;
7  type
8    varbiindex = array[1..nmaxdump_mais_pas,1..7] of double;
9  VAR
10   semente:longint;
11   r:char;
12   mediap,moda p,desviop,errorp:double;
13   ip,jp,nmax,nacav:integer;
14   alfagama,betagama,
15   Kp,tesquerdagama,tdireitagama,
16   t_do_maximo_gama,f_de_tmaximo_gama:varbiindex;
17   alfaweibull,betaweibull:array[0..1] of double;
18   gaussb:array[1..nmaxdump_mais_pas,1..7] of boolean;
19
20   A,AA,AE,AI,AT,AV,AD,AC,BA,BB,BRITADOR:INTEGER;
21   NUMTOLVA:INTEGER;
22   tolva:integer;
23   DESC,I,III,H,HH,HHH,ZI,ZK,ZZI,K,IA,IC,II,IV,ND,NP:INTEGER;
24   INDREL,INDIGER,N_T_ENCRAV,CONVERDAD,NPEQINT:INTEGER;
25   VALORGERADO,CST,CIT,CT,TR,TTB,MT,TEB,ME,VDB:DOUBLE;
26   INDCST:DOUBLE;
27   DCTV,DT,TEREF,TFR,X,XX,XXX,T,S,PSANA,CTANA,CTANT:DOUBLE;
28   PRODIA,STETSC,STPA,STFP,STFB,STTB,STEB,STECS,TTESPERA:DOUBLE;
29   TMMP,CMP:DOUBLE;
30   REF:CHAR;
31   STSC,SFP,SPA,SFB,SPR:DOUBLE;
32   S2TSC,S2FP,S2PA,S2FB,S2PR:DOUBLE;
33   SMTETSC,SMEDFP,SMEDPA,SMEDFB,SMEDPR:DOUBLE;
34   MEDTSC,MEDFP,MEDPA,MEDFB,MEDPR:DOUBLE;
35   MTSC,MFP,MPA,MFB,MPR:DOUBLE;
36   M2SC,M2FP,M2PA,M2FB,M2PR:DOUBLE;
37   DP_TSC,DP_FP,DP_PA,DP_FB,DP_CS,DP_DE,DP_PR:DOUBLE;
38   PSCL,INDC:DOUBLE;
39   psclinput,numaxrel,catolva:double;
40  TYPE
41    INDEX = ARRAY [1..60] OF DOUBLE;
42    INDEXIN = ARRAY [1..60] OF INTEGER;
43    INDEXTV = ARRAY [1..60] OF LONGINT;
44  VAR
45    CLNT:INDEXTV;
46    smncl,medncl,sncl,s2mncl,mnt,m2nt,dp_nt:INDEX;
47    CP,CD,TA,TC,TP,TB,TD,MA,MC,MP,MB,MD,TEP,Z,TMC:INDEX;
48    TMUPA,DPUPA,TMCA,TMA,DPA,TMI,DPI,TMV,DPV,TMD,DPD:INDEX;

```

```

49  BR,BV,P,FP,FB:INDEXIN;
50  STEPA,STAFP,STEFB,TFAPA:INDEX;
51  ALFAAR,BETAAR:INDEX;
52  VALCUM,CLASSE:INDEX;
53  ALFACA,BETACA,ALFAI,BETAI,ALFAD,BETAD,ALFAV,BETAV:INDEX;
54  ALFAWBL,BETAWBL:DOUBLE;
55  INFB:INDEXIN;
56  MEDINFB,MINFB,STINFB,S2TINFB,M2INFB,DP_INFB,SMINFB:INDEX;
57  VAR
58    fichdout:string[60];
59    fichtout:string[60];
60    FILAIN:TEXT;
61    NOMEIN:STRING(60);
62    FILAOUT:TEXT;
63    NOMEOUT:STRING(60);
64    FILANTV:TEXT;
65    NOMENTV:STRING(60);
66    IMAGPEDREI:CHAR;
67  VAR
68    PONTEIRO,SUM,MEDIA,DESVPAD,OBSERVA,MODA:DOUBLE;
69    III,NUMCLASS,INDICA:INTEGER;
70
71  function ModestWholeNumber (X: double): boolean;
72
73    {Returns true iff X is a whole number in the range - maxint .. maxint.}
74
75  begin
76    if abs (X) < maxint then ModestWholeNumber := X = trunc (X)
77    else
78      ModestWholeNumber:=false
79  end;
80  function IntPow (Base: double; NonNegInt: integer): double;
81
82  {Returns Base raised to the nonnegative integer power NonNegInt.}
83
84  begin
85    if NonNegInt = 0 then IntPow := 1
86    else
87      if odd (NonNegInt) then IntPow := Base * IntPow (Base, NonNegInt - 1)
88      else
89        IntPow := sqr (IntPow (Base, NonNegInt div 2));
90  end;
91
92  function POW (Base, Exponent: double): double;
93
94    {Returns Base raised to the Exponent power.Prerequisite files: EvenReal.lib, IntPow.lib,}
95
96  begin
97    if Exponent < 0.0 then POW := 1.0 / POW (Base, -Exponent)
98    else

```

```

99   if (Base = 1.0) or (Exponent = 0.0) then POW := 1.0
100
101   {assuming POW (0.0, 0.0) = 1.0}
102
103   else
104   if Base = 0.0 then POW := 0.0
105   else
106   if ModestWholeNumber (Exponent) then
107   POW := IntPow (Base, trunc (Exponent))
108   else
109   POW := exp (Exponent * ln (Base));
110 end;
111
112 function normalaleat(m,sd:double):double;
113
114                                     {gerador de numeros aleatorios, distribuidos normalmente}
115                                     {média m, desvio padrão sd; gera um aleatorio}
116
117 const
118   nuniforme=40;
119 var
120   i,j:integer;
121   aux,k:double;
122 begin
123   k:=sqrt(3)/0.5;
124
125                                     {porque o desvio padrão da distribuição uniforme e 0.5/sqrt(3)}
126
127   aux:=0;
128   for j:= 1 to nuniforme do aux:=-aux+(0.5-random)*k;
129   aux:=-aux/nuniforme*sqrt(nuniforme);
130
131   {neste ponto aux é um aleatorio aprox normal, com média zero e desvio padrão unitário}
132
133   normalaleat:=-aux*sd+m;
134
135   {x e um aleatorio aprox. normal, com média m e desvio padrão sd}
136
137 end;
138
139 function F(Xf,alfaf,betaf,kapaf:double):double;
140
141   {distribuição de probabilidade}
142
143 begin
144   F:=- POW(xf,(alfaf-1))*exp(-xf/betaf)*Kapaf {Distribuição gama}
145 end;
146
147 function geragama(Moivre:boolean;alfag,betag,kapag,tesquerdag,tdireitag,f_de_tmaximog:double):double;
148

```

```

149           {gerador de aleatorios Von Newmann, gerando aleatorios da lei Gama}
150
151 var
152   erro,xr,yr,yc,t_do_maximo,f_de_tmaximo:double;
153   marca:boolean;
154 begin
155   if Moivre then
156     geragama:= normalaleat((alfag*betag),(sqrt(alfag)*betag))
157   else
158     repeat
159       marca:= false;
160
161           {inicio do gerador de aleatorios, pelo metodo de VON NEUWMANN}
162
163       xr:=tesquerdag+random*(tdireitag-tesquerdag);
164       yc:=f(xr,alfag,betag,kapag);
165       yr:=random*f_de_tmaximog;
166       if yr < yc then
167         begin
168           marca:= true;
169           geragama:= xr;
170         end;
171       until marca;
172     end;
173
174   function gama(xg:double):double;
175
176 {TABLES OF HIGHER FUNCTIONS - JAHNKE EMDE LOSCH - MACGRAW-HILL p4, paragrafo 1.1 primeira expressão com produtorio}
177
178 const NCICLOS= 10000;
179 var
180   E5, Z,ZI,P1,P2:double;
181   I:INTEGER;
182 begin
183   E5:= 1E-3;
184   ZI:= xg;
185   if zi > 171 then
186     begin
187       writeln('PARA EVITAR OVERFLOW PARO!');
188       writeln('Z > 171'); HALT;
189     end;
190   Z:= ZI-1;
191   P1:= 1;
192   P2:= Z;
193   while Z > 2 do
194     begin
195       Z:= Z-1;
196       P2:= P2*Z;
197     end;
198   for I:= 1 to NCICLOS do

```



```

199  begin
200      P1:=-P1*POW((1+1/I),Z)*1/(1+Z/I);
201  end;
202  gama:-p2*p1/z;
203  gotoxy(5,20);
204  end;
205
206  function kapa(alfak,betak:double):double;
207
208  begin
209      Kapa:=(POW(betak,(-1*alfak)))/gama(alfak);
210  end;
211
212  procedure CASO1(VAR FA,A1,A2,A3,A4:double);
213
214  begin
215      A4:=-A3;A3:=-A2;A2:=-A1+(A4-A1)*FA;
216  end;
217
218  procedure CASO2(VAR FA,A1,A2,A3,A4:double);
219
220  begin
221      A1:=-A2;A2:=-A3;A3:=-A4-(A4-A1)*FA;
222  end;
223
224  procedure SAUREA(A,B,ERRO,alfagama,betagama,kp:double;VAR maximo:double);
225
226  var
227      FA,A1,A2,A3,A4:double;
228      contador:integer;
229  begin
230      contador:=0;
231      FA:=-0.3819661;
232      A1:=A;A4:=-B;
233      A2:=-A1+(A4-A1)*FA;
234      A3:=-A4-(A4-A1)*FA;
235      while((ABS(A1-A4)>ERRO) and (contador<1001)) do
236      begin
237          contador:=contador+1;
238          if contador=1000 then writeln(' !!!ATENCAO CONTADOR = 1000!!!');
239          if F(A2,alfagama,betagama,kp)>F(A3,alfagama,betagama,kp) then CASO1(FA,A1,A2,A3,A4)
240          else
241              CASO2(FA,A1,A2,A3,A4);
242          end;
243          maximo:=(A4+A1)/2;
244      end;
245
246  function gerweibull(n_estado:integer):double;
247
248  var

```

```

249  r:double;
250  begin
251      r:= 1-random;
252      gerweibull:=betaweibull[n_estado]*pow((-ln(r)),1/alfaweibull[n_estado])
253  end;
254
255  function gergama(N_MAQUINA,N_TAREFA:integer):double;
256
257  begin
258
259      {writeln('#####',n_tarefa,n_maquina,'#####');}
260
261      gergama:=geragama(gaussb[n_tarefa,n_maquina],alfagama[n_tarefa,n_maquina],
262          betagama[n_tarefa,n_maquina],kp[n_tarefa,n_maquina],
263          tesquerdagama[n_tarefa,n_maquina],tdreitagama[n_tarefa,n_maquina],
264          f_de_tmaximo_gama[n_tarefa,n_maquina]);
265  end;
266
267  PROCEDURE SIMETRIA; {Análise da simetria dos histogramas de frequências de níveis}
268
269  BEGIN
270
271  {Determinar o nº de classes que vão fazer parte do histograma}
272
273      BEGIN
274          PONTEIRO:=CIT;
275          IIII:=0;
276          REPEAT
277              BEGIN
278                  PONTEIRO:=PONTEIRO+PSCL;
279                  IIII:=IIII+1;
280              END
281          UNTIL
282              PONTEIRO>=INDCST;
283          NUMCLASS:=IIII;
284      END;
285
286  {Determina a média dos valores de frequência de níveis}
287
288      BEGIN
289          SUM:=0;
290          FOR I:=1 TO NUMCLASS DO
291              BEGIN
292                  SUM:=SUM+MNT[I];
293              END;
294          MEDIA:=SUM/NUMCLASS;
295      END;
296
297  {Determina o Desvio Padrão dos valores de frequência de níveis}
298

```

```

299 BEGIN
300     SUM:=0;
301     FOR I:=1 TO NUMCLASS DO
302         BEGIN
303             SUM:=SUM+((MNT[I]-MEDIA)*(MNT[I]-MEDIA));
304         END;
305     DESVPAD:=SQRT(SUM/NUMCLASS);
306 END;
307
308 {Determina a Moda dos valores de frequência de níveis}
309
310 BEGIN
311     OBSERVA:=MNT[1];
312     INDICA:=1;
313     FOR I:=1 TO NUMCLASS DO
314         BEGIN
315             IF OBSERVA < MNT[I+1] THEN
316                 BEGIN
317                     OBSERVA:=MNT[I+1];
318                     INDICA:=I+1;
319                 END;
320             END;
321     MODA:=(CIT+INDICA*PSCL)-(PSCL/2);
322 END;
323 END;
324
325 PROCEDURE NIVEL;
326
327 BEGIN
328     FOR I:=1 TO (52) DO {prudência 52 = Cap. tolva/0.58}
329         BEGIN
330             CLNT[I]:=0;
331         END;
332     END;
333
334 PROCEDURE GERENCRAV;
335
336 BEGIN {Gera tempos de encravamento do britador}
337     VALORGERADO:=RANDOM; {usando um histograma empirico}
338     HHH:=1;
339     BEGIN
340         WHILE VALORGERADO > VALCUM[HHH] DO
341             BEGIN
342                 HHH:=HHH+1;
343             END;
344         END;
345     IF VALORGERADO=VALCUM[HHH] THEN
346         BEGIN
347             X:=CLASSE[HHH];
348         END

```

```
349 ELSE
350 BEGIN
351   XX:=(CLASSE[HHH]-CLASSE[HHH-1])*(VALORGERADO-VALCUM[HHH-1]);
352   XXX:=XX/(VALCUM[HHH]-VALCUM[HHH-1]);
353   X:=-CLASSE[HHH-1]+XXX;
354 END;
355 END;
356
357 PROCEDURE IMAGEM;
358
359 BEGIN
360 REPEAT
361 UNTIL KEYPRESSED;
362 REF:=READKEY;
363 GOTOXY(1,1);
364 FOR I:=1 TO NP DO
365 BEGIN
366   WRITE(' P (' ,I,')= ',P[I], ' ');
367 END;
368 FOR I:=1 TO ND DO
369 BEGIN
370   GOTOXY(3,I+3);
371   WRITELN('FP(' ,I,')= ',FP[I]);
372 END;
373 FOR I:=ND DOWNT0 1 DO
374 BEGIN
375   GOTOXY(53,(ND-I)+5);
376   WRITELN('BV(' ,I,')= ',BV[I]);
377 END;
378 FOR I:=ND DOWNT0 1 DO
379 BEGIN
380   GOTOXY(39,(ND-I)+11);
381   WRITELN('FB(' ,I,')= ',FB[I]);
382 END;
383 FOR I:=1 TO ND DO
384 BEGIN
385   GOTOXY(18,I+6);
386   WRITELN('BR(' ,I,')= ',BR[I]);
387 END;
388 GOTOXY(26,I+11);
389 WRITELN('BB = ',BB);
390 GOTOXY(3,I+12);
391 WRITELN('Tolva = ',CT:5:3);
392 GOTOXY(23,I+13);
393 WRITELN('Brit. = ',BRITADOR);
394 BEGIN
395   IF BRITADOR=1 THEN
396   BEGIN
397     GOTOXY(17,I+15);
398     WRITELN('Temp. Trab. = ',TTB:5:3);
```

```

399     END
400     ELSE
401     BEGIN
402         GOTOXY(17,I+15);
403         WRITELN('Temp. Encr. = ',TEB:5:3);
404     END;
405 END;
406 GOTOXY(3,I+11);
407 WRITELN('C S --> ',INDCST:4:2);
408 GOTOXY(3,I+13);
409 WRITELN('C I --> ',CIT:4:2);
410 GOTOXY(57,1);
411 WRITELN('TR = ',TR:8:3,' ');
412 GOTOXY(57,2);
413 WRITELN('Fim Relevô = ',TFR:4:1);
414 IF DT < 0 THEN
415 BEGIN
416     GOTOXY(3,I+15);
417     HH:=HH+1;
418     WRITELN(' ');
419     GOTOXY(3,I+15);
420     WRITELN('**',HH,'**');
421 END;
422 GOTOXY(55,I+11);
423 WRITELN('A = ',A);
424 GOTOXY(55,I+12);
425 WRITELN(' ');
426 GOTOXY(55,I+13);
427 WRITELN(' ');
428 GOTOXY(55,I+12);
429 CASE A OF
430 1: BEGIN
431     WRITELN('Arrumação - Pá nº',IA);
432     GOTOXY(55,I+13);
433     WRITELN('(',DT:4:3,')');
434     END;
435 2: BEGIN
436     WRITELN('Carga - Camião nº',P[IC]);
437     GOTOXY(55,I+13);
438     WRITELN('(',DT:4:3,')');
439     END;
440 3: BEGIN
441     WRITELN('Ida - Camião nº',BV[1]);
442     GOTOXY(55,I+13);
443     WRITELN('(',DT:4:3,')');
444     END;
445 4: BEGIN
446     WRITELN('Descarga - Camião nº',BB);
447     GOTOXY(55,I+13);
448     WRITELN('(',DT:4:3,')');

```

```

449     END;
450 5: BEGIN
451     WRITELN('Regresso - Camião nº',BR[1]);
452     GOTOXY(55,I + 13);
453     WRITELN('I',DT:4:3,'');
454     END;
455 6: BEGIN
456     WRITELN('Trabalho - Britador');
457     GOTOXY(55,I + 13);
458     WRITELN('I',DT:4:3,'');
459     END;
460 7: BEGIN
461     WRITELN('Encravamento- Britador');
462     GOTOXY(55,I + 13);
463     WRITELN('I',DT:4:3,'');
464     END;
465     END;
466     GOTOXY(55,I + 15);
467     WRITE('RELEVO N - > ',INDREL);
468     END;
469
470 PROCEDURE ARRGER;
471
472 BEGIN
473     FOR I:= 1 TO NP DO
474     BEGIN
475         ALFAAR[I]:= TMA[I]*TMA[I]/(DPA[I]*DPA[I]);
476         BETAAR[I]:= TMA[I]/ALFAAR[I];
477         ALFACA[I]:= TMUPA[I]*TMUPA[I]/(DPUPA[I]*DPUPA[I]);
478         BETACA[I]:= TMUPA[I]/ALFACA[I];
479     END;
480
481         {Determina alfa e beta da Gamma para os tempos dos camiões}
482
483     FOR I:= 1 TO ND DO
484     BEGIN
485         ALFAI[I]:= TMI[I]*TMI[I]/(DPI[I]*DPI[I]);
486         BETAI[I]:= TMI[I]/ALFAI[I];
487         ALFAD[I]:= TMD[I]*TMD[I]/(DPD[I]*DPD[I]);
488         BETAD[I]:= TMD[I]/ALFAD[I];
489         ALFAV[I]:= TMV[I]*TMV[I]/(DPV[I]*DPV[I]);
490         BETAV[I]:= TMV[I]/ALFAV[I];
491     END;
492
493         {Determina alfa e beta da Gamma para o tempo de arrumação das pás}
494
495     END;
496
497 PROCEDURE ACUMULADOR;
498

```

```

499 BEGIN
500   INDC:=-CIT;
501   III:=-0;
502   REPEAT
503     BEGIN
504       INDC:=-INDC+PSCL;
505       III:=-III+1;
506     END
507   UNTIL
508     CTANA < -INDC;
509     CLNT[III]:=-CLNT[III]+1;
510   END;
511
512 PROCEDURE AUMENTO;
513
514   BEGIN
515     TR:=-TR+DT;                                {Incremento do relógio principal}
516     IF IMAGPEDREI='N' THEN
517       BEGIN
518         GOTOXY(5,9);
519         WRITE('TEMPO REAL TR -> ',TR:8:3);
520       END;
521     IF TR < TFR THEN
522       BEGIN
523
524     {Integradora dos tempos de espera da tolva sem camião para descarregar}
525
526       IF (BB=0) AND (FB[1]=0) THEN
527         BEGIN
528           STETSC:=-STETSC+DT;
529         END;
530
531     {Integradoras dos tempos de espera das pás}
532
533       BEGIN
534         FOR I:=1 TO NP DO
535           BEGIN
536             IF P[I]=0 THEN
537               BEGIN
538                 STEPA[I]:=-STEPA[I]+DT;
539               END;
540             END;
541           END;
542
543     {Integradoras dos tempos de espera dos camiões na fila das pás}
544
545       BEGIN
546         FOR I:=1 TO ND DO
547           BEGIN
548             IF FP[I] < > 0 THEN

```

```

549      BEGIN
550          STEFP[FP(I)]:= STEFP[FP(I)]+DT;
551      END;
552  END;
553  END;
554
555  {Integradoras dos tempos de espera dos camiões na fila do britador}
556
557      BEGIN
558          FOR I:= 1 TO ND DO
559              BEGIN
560                  IF FB(I) < > 0 THEN {Análise da ocupação da fila do britador}
561                      BEGIN
562                          INFB(I):= INFB(I)+1;
563                      END;
564                      BEGIN
565                          IF FB(I) < > 0 THEN
566                              BEGIN
567                                  STEFB[FB(I)]:= STEFB[FB(I)]+DT;
568                                  IF (I= 1) AND (BB= 0) AND (CD[FB(1)] > (INDCST-CT)) THEN
569                                      BEGIN
570                                          STECS:= STECS+DT; {Integradora do tempo de espera}
571                                          END;      {na fila do britador pelo facto}
572                                          END;      {de a tolva estar cheia}
573                                      END;
574                                  END;
575                              END;
576                                  FOR I:= 1 TO NP DO
577                                      BEGIN
578                                          IF P(I)= 0 THEN
579                                              BEGIN
580                                                  TEP(I):= TEP(I)+DT;      {Aumenta o tempo de espera das pás}
581                                              END
582                                          ELSE
583                                              BEGIN
584                                                  IF P(I)= -1 THEN
585                                                      BEGIN
586                                                          TA(I):= TA(I)-DT;      {Diminui o tempo de arrumação}
587                                                          IF TA(I) < 0 THEN TA(I):= 0;
588                                                      END
589                                                  ELSE
590                                                      BEGIN
591                                                          TC[P(I)]:= TC[P(I)]-DT;      {Diminui o tempo de carga}
592                                                          IF TC[P(I)] < 0 THEN TC[P(I)]:= 0;
593                                                      END;
594                                                  END;
595                                              END;
596                                  FOR I:= 1 TO ND DO
597                                      BEGIN
598                                          IF BV(I) < > 0 THEN

```



```

599     BEGIN
600     TP[BV(I)]:=TP[BV(I)]-DT; {Diminui o tempo de ida}
601     IF TP[BV(I)]<0 THEN TP[BV(I)]:=0;
602     END;
603     END;
604     BEGIN
605     IF BB<>0 THEN
606     BEGIN
607     TD[BB]:=TD[BB]-DT; {Diminui o tempo de descarga}
608     IF TD[BB]<0 THEN TD[BB]:=0;
609     END;
610     END;
611     FOR I:=1 TO ND DO
612     BEGIN
613     IF BR(I)>0 THEN
614     BEGIN
615     TB[BR(I)]:=TB[BR(I)]-DT; {Diminui o tempo de regresso}
616     IF TB[BR(I)]<0 THEN TB[BR(I)]:=0;
617     END;
618     END;
619     BEGIN
620     IF BRITADOR=0 THEN
621     BEGIN
622     TEB:=TEB-DT; {Diminui o tempo de encravamento}
623     IF TEB<0 THEN TEB:=0;
624     END
625     ELSE
626     BEGIN
627     TTB:=TTB-DT; {Diminui o tempo de trabalho}
628     IF TTB<0 THEN TTB:=0;
629     END;
630     END;
631     CTANT:=CT;
632     BEGIN
633     IF (BRITADOR=1) AND (CT>CIT) THEN
634     BEGIN
635     DCTV:=CT-(DT*VDB);
636     IF DCTV<CIT THEN
637     BEGIN
638     PRODIA:=PRODIA+(DT*VDB-(ABS(DCTV-CIT)));
639     CT:=CIT; {O britador descarrega}
640     END
641     ELSE
642     BEGIN
643     PRODIA:=PRODIA+(DT*VDB);
644     CT:=DCTV; {O britador descarrega}
645     END;
646     END;
647     END;
648     IF PSANA<DT THEN {Analise do Nivel da Tolva}

```

```

649 BEGIN
650     CTANA:=CTANT;
651     NPEQINT:=TRUNC(DT/PSANA);
652     IF (CTANT-CT)<0 THEN
653         BEGIN
654             FOR I:=1 TO NPEQINT DO
655                 BEGIN
656                     CTANA:=CTANA+((ABS(CTANT-CT)*PSANA)/DT);
657                     ACUMULADOR;
658                 END;
659             END;
660             IF (CTANT-CT)=0 THEN
661                 BEGIN
662                     FOR I:=1 TO NPEQINT DO
663                         BEGIN
664                             ACUMULADOR;
665                         END;
666                     END;
667                     IF (CTANT-CT)>0 THEN
668                         BEGIN
669                             FOR I:=1 TO NPEQINT DO
670                                 BEGIN
671                                     CTANA:=CTANA-((ABS(CTANT-CT)*PSANA)/DT);
672                                     ACUMULADOR;
673                                 END;
674                             END;
675                         END;
676                     END;
677                 END;
678
679 PROCEDURE RAPIDO;
680
681 BEGIN
682     CLRSCR;
683
684     {Nome do ficheiro de entrada de dados}
685
686     NOMEIN:='C:\ALEX\PEDREIRA\dados1.run'; {novo nome do ficheiro dados.run}
687     WRITELN;
688     WRITELN('Nome do ficheiro de entrada de dados - ');WRITE(NOMEIN);
689     ASSIGN(FILAIN,NOMEIN);
690     RESET(FILAIN);
691
692     {Leitura de dados de
        inicialização}
693
694     READLN(FILAIN,semente); {Variavel inicializadora do random}
695     READLN(FILAIN,PSANA);
696     readln(filain,psclinput);
697     readln(filain,numaxrel);

```

```

698 readln(filain,catolva);
699 READLN(FILAIN,CST);
700 READLN(FILAIN,CIT);
701 READLN(FILAIN,VDB);
702 READLN(FILAIN,NP);
703 READLN(FILAIN,ND);
704 readln(filain,fichdout);
705 readln(filain,fichtout);
706 READLN(FILAIN,TFR);
707 BEGIN
708     TMMP:=0;           {tempo médio de manobra}
709     CMP:=0;           {capacidade média das pás}
710     FOR I:=1 TO NP DO
711     BEGIN
712         READLN(FILAIN,CP[I]);   {capacidade da pá}
713         CMP:=CMP+CP[I];
714         READLN(FILAIN,TMA[I]);
715         READLN(FILAIN,DPA[I]);
716         READLN(FILAIN,TMUPA[I]); {tempo médio unitário manobra da pá}
717         TMUPA[I]:=TMUPA[I];
718         TMMP:=TMMP+TMUPA[I];
719         READLN(FILAIN,DPUPA[I]); {DP de tempo médio unitário manobra da pá}
720         DPUPA[I]:=DPUPA[I];
721     END;
722     TMMP:=TMMP/I;           {tempo médio de manobra das pás}
723     CMP:=CMP/I;           {capacidade média das pás}
724     FOR I:=1 TO ND DO
725     BEGIN
726         READLN(FILAIN,CD[I]);
727         READLN(FILAIN,TMI[I]);
728         TMI[I]:=TMI[I];
729         READLN(FILAIN,DPI[I]);
730         DPI[I]:=DPI[I];
731         READLN(FILAIN,TMV[I]);
732         TMV[I]:=TMV[I];
733         READLN(FILAIN,DPV[I]);
734         DPV[I]:=DPV[I];
735         READLN(FILAIN,TMD[I]);
736         TMD[I]:=TMD[I];
737         READLN(FILAIN,OPD[I]);
738         OPD[I]:=OPD[I];
739     END;
740     READLN(FILAIN,ALFAWBL);
741     READLN(FILAIN,BETAWBL);
742     READLN(FILAIN,N_T_ENCRAV);
743     FOR HHH:=1 TO N_T_ENCRAV DO
744     BEGIN
745         READ(FILAIN,VALCUM[HHH]);
746         READLN(FILAIN,CLASSE[HHH]);
747     END;

```

```

748 END;
749 ARRGER;
750 END;
751
752 PROCEDURE FINALIZAR;
753
754 BEGIN
755
756 {Contas finais}
757
758 BEGIN
759 FOR I:= 1 TO NP DO
760 BEGIN
761
762 {Tempo total de espera das pás}
763
764 STPA:= STPA + STEPA(I);
765 END;
766 FOR I:= 1 TO ND DO
767 BEGIN
768
769 {Tempo total de espera na fila das pás}
770
771 STFP:= STFP + STEFP(I);
772
773 {Tempo total de espera na fila do britador}
774
775 STFB:= STFB + STEFB(I);
776 END;
777 END;
778 TTESPERA:= STFP + STPA + STFB; {Tempo total de esperas}
779 FOR I:= 1 TO NP DO
780 BEGIN
781 IF P(I)=-1 THEN
782 BEGIN
783 TFAPA(I):= TMA(I); {Tempo em falta para arrumação}
784 END; {das pás em arrumação}
785 END; {-----> novo relevo}
786 CLRSCR;
787 END;
788
789 PROCEDURE AZERAR;
790
791 BEGIN
792
793 {Azerar tudo}
794
795 FOR I:= 1 TO NP DO
796 BEGIN
797 MA(I):= 0;TA(I):= 0;STEPA(I):= 0;

```

```

798     END;
799     FOR I:= 1 TO ND DO
800     BEGIN
801         MC[I]:=-0;TC[I]:=-0;
802         MP[I]:=-0;TP[I]:=-0;
803         MB[I]:=-0;TB[I]:=-0;
804         MD[I]:=-0;TD[I]:=-0;STFP[I]:=-0;STFB[I]:=-0;
805         INFB[I]:=-0;
806     END;
807     FOR I:= 1 TO ND + 1 DO
808     BEGIN
809         BV[I]:=-0;FB[I]:=-0;BR[I]:=-0;FP[I]:=-0;
810     END;
811     A:=-0;BB:=-0;AA:=-1;AC:=-1;AI:=-1;AV:=-1;AD:=-1;
812     HH:=-0;AT:=-1;AE:=-1;
813     STPA:=-0;STFP:=-0;STFB:=-0;STTB:=-0;STEB:=-0;PRODIA:=-0;
814     DESC:=-0;STECS:=-0;STETSC:=-0;
815
816     {A tolva adquire a capacidade mínima}
817
818     CT:=-CIT;
819
820     {O relógio vai a zero}
821
822     TR:=-0;DT:=-0;
823
824     {Os camiões vão para a fila das pás}
825
826     FOR I:= 1 TO ND DO
827     BEGIN
828         FP[I]:=-1;
829     END;
830 END;
831
832 PROCEDURE PRIMEIROS_TEMPOS;
833
834 BEGIN
835
836     {Gerar o primeiro tempo de trabalho do britador}
837
838     BRITADOR:= 1;    {O britador adquire índice de trabalho}
839     X:=gerweibull(1);
840     TTB:=-X;
841     STTB:=-STTB+TTB;
842
843     {Gerar os primeiros tempos de arrumação das pás}
844
845     FOR I:= 1 TO NP DO
846     BEGIN
847         P[I]:=-1;    {As pás adquirem índice de arrumação}

```

```

848     INDIGER:= 1;
849     X:=gergama(INDIGER,I);
850     TA[I]:=X;
851     END;
852 END;
853
854 {INICIO DO RELEVO}
855
856 BEGIN
857     CLRSCR;
858     REPEAT
859     WRITE ('Vou iniciar a corrida. Quer Imagem (S/N) ?');
860     READLN(IMAGPEDREI);
861     UNTIL (IMAGPEDREI='S') OR (IMAGPEDREI='N');
862     BEGIN
863         RAPIDO;
864     END;
865
866 {Inicialização das distribuições e azerar}
867
868     BEGIN
869
870 {Calcula os tempos médios de um ciclo dos camiões}
871
872     FOR I:= 1 TO ND DO
873     BEGIN
874         TMCA[I]:=(CD[I]/CMP)*TMMP; {Tempo médio de carga dos camiões}
875     END; {TMMP - tempo médio de manobra - pás}
876         {CMP - capacidade média das pás}
877     FOR I:= 1 TO ND DO
878     BEGIN
879         TMC[I]:= TMCA[I]+TMI[I]+TMV[I]+TMD[I]; {Tempo médio de ciclo de cada camião}
880     END;
881
882     AZERAR;
883
884     ERROp:= 1e-5;
885     RandSeed:=semente; {Inicialização do gerador de aleatorios}
886
887 {Inicio do bloco referente aos dumpers; os dumpers so tem tarefas 3,4,5 correspondentes a carga,ida, descarga, regresso}
888
889     for ip:= 1 to ND do
890     begin
891         clrscr;
892         gotoxy(5,5);
893         write('Estou a inicializar as distribuições "GAMMA" do camião nº ',ip);
894         for jp:= 3 to 5 do
895         begin
896             if jp= 3 then alfagama(ip,jp):= alfai[ip];
897             if jp= 4 then alfagama(ip,jp):= alfad[ip];

```

```

898     if jp=5 then alfagama[ip,jp]=alfav[ip];
899     if jp=3 then betagama[ip,jp]=betai[ip];
900     if jp=4 then betagama[ip,jp]=betad[ip];
901     if jp=5 then betagama[ip,jp]=betav[ip];
902     mediap:= alfagama[ip,jp]*betagama[ip,jp];
903     desviop:=sqrt(alfagama[ip,jp]*betagama[ip,jp];
904     gotoxy(5,15);write('Média = ',mediap:8:3);
905     gotoxy(5,16);write('Desv.Padr. = ',desviop:8:3);
906     gotoxy(35,15);write('Alfa = ',alfagama[ip,jp]:8:4);
907     gotoxy(35,16);write('Beta = ',betagama[ip,jp]:8:4);
908     gotoxy(5,12);
909     if jp=3 then write('Ida');
910     if jp=4 then write('Descarga');
911     if jp=5 then write('Regresso');
912     if alfagama[ip,jp] < xgamamax then
913     begin
914         gaussb[ip,jp]:= false;
915         gotoxy(5,9);write(' ');
916         gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gama(alfa)');
917         Kp[ip,jp]:= kapa(alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp]);
918         tesquerdagama[ip,jp]:= mediap-6*desviop;
919         if tesquerdagama[ip,jp] < 0 then tesquerdagama[ip,jp]:= 0;
920         tdireitagama[ip,jp]:= mediap+6*desviop;
921         SAUREA(tesquerdagama[ip,jp],tdireitagama[ip,jp],ERROp,alfagama[ip,jp],
922         betagama[ip,jp], kp[ip,jp],t_do_maximo_gama[ip,jp]);
923         f_de_tmaximo_gama[ip,jp]:= f(t_do_maximo_gama[ip,jp],alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp],kp[ip,jp]);
924     end
925     else
926     begin
927         gaussb[ip,jp]:= true;
928         gotoxy(5,9);
929         write(' ');
930         gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gauss em vez de Gama(alfa)');
931         modap:=(alfagama[ip,jp]-1)*betagama[ip,jp];
932         if abs(modap-mediap)/mediap > 0.2 then
933             write('mas pode haver problemas com esta distribuição !!!!');
934         end;
935     end;
936 end;
937
938 {Fim do bloco referente aos dumpers}
939
940 {Inicio do bloco referente as pas; as pas so tem tarefas 1 e 2}
941
942 for ip:= 1 to NP do
943 begin
944     clrscr;
945     gotoxy(5,5);
946     write('Estou a inicializar a distribuição "GAMA" da pá nº ',ip);
947     jp:= 1; (* o diabo e sendeiro *)

```

```

948   alfagama[ip,jp]:= alfaar[ip];
949   betagama[ip,jp]:= betaar[ip];
950   mediap:= alfagama[ip,jp]*betagama[ip,jp];
951   desviop:= sqrt(alfagama[ip,jp])*betagama[ip,jp];
952   gotoxy(5,12);write('Arrumação');
953   gotoxy(5,15);write('Média = ',mediap:8:3);
954   gotoxy(5,16);write('Desv.Padr. = ',desviop:8:3);
955   gotoxy(35,15);write('Alfa = ',alfagama[ip,jp]:8:4);
956   gotoxy(35,16);write('Beta = ',betagama[ip,jp]:8:4);
957   if alfagama[ip,jp] < xgamamax then
958     begin
959       gaussb[ip,jp]:= false;
960       gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gama(alfa)');
961       Kp[ip,jp]:= kapa(alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp]);
962       tesquerdagama[ip,jp]:= mediap-6*desviop;
963       if tesquerdagama[ip,jp] < 0 then tesquerdagama[ip,jp]:= 0;
964       tdreitagama[ip,jp]:= mediap+6*desviop;
965       SAUREA(tesquerdagama[ip,jp],tdreitagama[ip,jp],ERROp,alfagama[ip,jp],
966       betagama[ip,jp],kp[ip,jp],t_do_maximo_gama[ip,jp]);
967       f_de_tmaximo_gama[ip,jp]:= f(t_do_maximo_gama[ip,jp],alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp],kp[ip,jp]);
968     end
969   else
970     begin
971       gaussb[ip,jp]:= true;
972       gotoxy(5,9);
973       write(' ');
974       gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gauss em vez de Gama(alfa)');
975       gotoxy(5,12);write('Arrumação');
976       modap:= (alfagama[ip,jp]-1)*betagama[ip,jp];
977       if abs(modap-mediap)/mediap > 0.2 then
978         write('mas pode haver problemas com esta distribuição !!!!');
979       end;
980     end;
981   for ip:= 1 to NP do
982     begin
983       clrscr;
984       gotoxy(5,5);
985       write('Estou a inicializar a distribuição "GAMA" da pá nº ',ip);
986       jp:= 2;
987       alfagama[ip,jp]:= alfaca[ip];
988       betagama[ip,jp]:= betaca[ip];
989       mediap:= alfagama[ip,jp]*betagama[ip,jp];
990       desviop:= sqrt(alfagama[ip,jp])*betagama[ip,jp];
991       gotoxy(5,12);write('Manobra');
992       gotoxy(5,15);write('Média = ',mediap:8:3);
993       gotoxy(5,16);write('Desv.Padr. = ',desviop:8:3);
994       gotoxy(35,15);write('Alfa = ',alfagama[ip,jp]:8:4);
995       gotoxy(35,16);write('Beta = ',betagama[ip,jp]:8:4);
996       if alfagama[ip,jp] < xgamamax then
997         begin

```



```

998      gaussb[ip,jp]:= false;
999      gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gama(alfa)');
1000     Kp[ip,jp]:= kapa(alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp]);
1001     tesquerdagama[ip,jp]:= mediap-6*desviop;
1002     if tesquerdagama[ip,jp] < 0 then tesquerdagama[ip,jp]:= 0;
1003     tdireitagama[ip,jp]:= mediap+6*desviop;
1004     SAUREA(tesquerdagama[ip,jp],tdireitagama[ip,jp],ERROp,alfagama[ip,jp],
1005     betagama[ip,jp], kp[ip,jp],t_do_maximo_gama[ip,jp]);
1006     f_de_tmaximo_gama[ip,jp]:= f(t_do_maximo_gama[ip,jp],alfagama[ip,jp],betagama[ip,jp],kp[ip,jp]);
1007
1008     end
1009     else
1010     begin
1011         gaussb[ip,jp]:= true;
1012         gotoxy(5,9);
1013         write(' ');
1014         gotoxy(5,9);write('Estou a calcular Gauss em vez de Gama(alfa)');
1015         gotoxy(5,12);write('Manobra');
1016         modap:=(alfagama[ip,jp]-1)*betagama[ip,jp];
1017         if abs(modap-mediap)/mediap > 0.2 then
1018             write('mas pode haver problemas com esta distribuição !!!!');
1019         end;
1020     end;
1021
1022     {Fim do bloco referente as pas}
1023
1024     {Inicio do bloco referente ao britador}
1025
1026     alfaweibull[1]:= alfawbl; {Estado um - britador ligado}
1027     betaweibull[1]:= betawbl;
1028
1029     {Fim do bloco referente ao britador}
1030
1031     PRIMEIROS_TEMPOS;
1032     END;
1033     CLRSCR;
1034     NOMEOUT:= fichdout;
1035     ASSIGN(FILAOUT,NOMEOUT);REWRITE(FILAOUT);
1036     NOMENTV:= fichtout;
1037     ASSIGN(FILANTV,NOMENTV);REWRITE(FILANTV);
1038     PSCL:= psclinput;
1039
1040     {Inicia-se o indicador do nível máximo admitido pela tolva o valor adiciono a CIT (+/- a CAPACIDADE DE UM CAMIÃO)}
1041     {destina-se a viabilizar as primeiras corridas (admitir a descarga dos camiões)}
1042     INDCST:=(CIT+catolva);
1043     IIII:=80; {Nº máximo de classes - exagerado}
1044     NIVEL;
1045     INDREL:= 1;
1046     REPEAT
1047     BEGIN {TOLVA}

```

```

1048   WRITE(FILAOUT,INDCST:4:2,' ');
1049   REPEAT
1050     BEGIN {N_RELEVOS}
1051       WHILE TR < TFR DO
1052
1053         {ORDENACOES}
1054
1055         BEGIN {RELEVO}
1056           BEGIN
1057
1058           {Se o 1º lugar da fila do britador está ocupado, se a capacidade disponível é superior á capacidade do camião}
1059           {e se a plataforma de descarga está vazia ... then}
1060             IF (FB[1] < > 0) AND (CD[FB[1]] < (INDCST-CT)) AND (BB=0) THEN
1061               BEGIN
1062
1063               {Gera tempo de descarga}
1064
1065               BB:=FB[1];
1066               INDIGER:=-4;
1067               X:=gergama(INDIGER,BB);
1068               TD[BB]:=-X;
1069
1070               {Chega os camiões um lugar para a frente}
1071
1072               FOR I:=1 TO ND DO
1073                 BEGIN
1074                   FB[I]:=FB[I+1];
1075                 END;
1076               END;
1077             END;
1078             BEGIN
1079               BA:=0;
1080               IA:=0;
1081               FOR I:=1 TO NP DO
1082                 BEGIN
1083                   IF P[I]=-1 THEN
1084
1085                   {Mínimo tempo das arrumações}
1086
1087                   BEGIN
1088                     BA:=BA+1;
1089                     IF BA=1 THEN
1090                       BEGIN
1091                         MA[I]:=-TA[I];
1092                         IA:=-I;
1093                       END
1094                     ELSE
1095                       BEGIN
1096                         IF MA[IA]>TA[I] THEN
1097

```

```
1098         MA[I]:=TA[I];
1099         IA:=-I;
1100     END;
1101     END;
1102     END;
1103     END;
1104     IF IA=0 THEN
1105     BEGIN
1106         AA:=0;
1107     END
1108     ELSE
1109     BEGIN
1110         AA:=1;
1111     END;
1112     END;
1113
1114 {Mínimo tempo de carga}
1115
1116     BEGIN
1117         BA:=0;
1118         IC:=0;
1119         FOR I:=1 TO NP DO
1120         BEGIN
1121             IF (P[I]<>0) AND (P[I]<>-1) THEN
1122             BEGIN
1123                 BA:=BA+1;
1124                 IF BA=1 THEN
1125                 BEGIN
1126                     MC[P[I]]:=TC[P[I]];
1127                     IC:=I;
1128                 END
1129                 ELSE
1130                 BEGIN
1131                     IF MC[P[IC]]>TC[P[I]] THEN
1132                     BEGIN
1133                         MC[P[I]]:=TC[P[I]];
1134                         IC:=I;
1135                     END;
1136                 END;
1137             END;
1138         END;
1139         IF IC=0 THEN
1140         BEGIN
1141             AC:=0;
1142         END
1143         ELSE
1144         BEGIN
1145             AC:=1;
1146         END;
1147     END;
```

```

1148
1149 {Mínimo tempo de ida}
1150
1151     BEGIN
1152     IF BV[1]<>0 THEN
1153     BEGIN
1154         MP[BV[1]]:=TP[BV[1]];
1155         AI:-1;
1156     END
1157     ELSE
1158     BEGIN
1159         AI:-0;
1160     END;
1161     END;
1162
1163 {Mínimo tempo de regresso}
1164
1165     BEGIN
1166     IF BR[1]<>0 THEN
1167     BEGIN
1168         MB[BR[1]]:=TB[BR[1]];
1169         AV:-1;
1170     END
1171     ELSE
1172     BEGIN
1173         AV:-0;
1174     END;
1175     END;
1176
1177 {Mínimo tempo de descarga}
1178
1179     BEGIN
1180     IF BB<>0 THEN
1181     BEGIN
1182         MD[BB]:=TD[BB];
1183         AD:-1
1184     END
1185     ELSE
1186     BEGIN
1187         AD:-0;
1188     END;
1189     END;
1190
1191 {Mínimos tempos de trabalho e encravamento do britador}
1192
1193     BEGIN
1194     IF BRITADOR=1 THEN
1195     BEGIN
1196         MT:=TTB;
1197         AE:-0;

```

```

1198         AT:-1;
1199         END
1200         ELSE
1201         BEGIN
1202             ME:-TEB;
1203             AT:-0;
1204             AE:-1;
1205             END;
1206         END;
1207
1208 {DETERMINACAO MINIMO ABSOLUTO}
1209
1210         BEGIN
1211             A:-0;
1212             DT:-0;
1213             BEGIN
1214                 IF (AA-1) AND (AC-1) THEN
1215                 BEGIN
1216                     IF MA[IA]<MC[P[IC]] THEN
1217                     BEGIN
1218                         A:-1;
1219                         DT:-MA[IA];
1220                     END
1221                     ELSE
1222                     BEGIN
1223                         A:-2;
1224                         DT:-MC[P[IC]];
1225                     END;
1226                 END
1227                 ELSE
1228                 BEGIN
1229                     IF (AA=0) AND (AC-1) THEN
1230                     BEGIN
1231                         A:-2;
1232                         DT:-MC[P[IC]];
1233                     END
1234                     ELSE
1235                     BEGIN
1236                         IF (AA-1) AND (AC=0) THEN
1237                         BEGIN
1238                             A:-1;
1239                             DT:-MA[IA];
1240                         END;
1241                     END;
1242                 END;
1243             END;
1244         BEGIN
1245             IF AI=1 THEN
1246             BEGIN
1247                 IF DT=0 THEN

```

```

1248      BEGIN
1249      A:=-3;
1250      DT:=-MP[BV[1]];
1251      END
1252      ELSE
1253      BEGIN
1254      IF DT> MP[BV[1]] THEN
1255      BEGIN
1256      A:=-3;
1257      DT:=-MP[BV[1]];
1258      END;
1259      END;
1260      END;
1261      END;
1262      BEGIN
1263      IF AD = 1 THEN
1264      BEGIN
1265      IF DT = 0 THEN
1266      BEGIN
1267      A:=-4;
1268      DT:=-MD[BB];
1269      END
1270      ELSE
1271      BEGIN
1272      IF DT > MD[BB] THEN
1273      BEGIN
1274      A:=-4;
1275      DT:=-MD[BB];
1276      END;
1277      END;
1278      END;
1279      END;
1280      BEGIN
1281      IF AV = 1 THEN
1282      BEGIN
1283      IF DT = 0 THEN
1284      BEGIN
1285      A:=-5;
1286      DT:=-MB[BR[1]];
1287      END
1288      ELSE
1289      BEGIN
1290      IF DT > MB[BR[1]] THEN
1291      BEGIN
1292      A:=-5;
1293      DT:=-MB[BR[1]];
1294      END;
1295      END;
1296      END;
1297      END;

```

```

1298      BEGIN
1299      IF AT = 1 THEN
1300      BEGIN
1301      IF DT = 0 THEN
1302      BEGIN
1303      A: = 6;
1304      DT: = MT;
1305      END
1306      ELSE
1307      BEGIN
1308      IF DT > MT THEN
1309      BEGIN
1310      A: = 6;
1311      DT: = MT;
1312      END;
1313      END;
1314      END;
1315      END;
1316      BEGIN
1317      IF AE = 1 THEN
1318      BEGIN
1319      IF DT = 0 THEN
1320      BEGIN
1321      A: = 7;
1322      DT: = ME;
1323      END
1324      ELSE
1325      BEGIN
1326      IF DT > ME THEN
1327      BEGIN
1328      A: = 7;
1329      DT: = ME;
1330      END;
1331      END;
1332      END;
1333      END;
1334      END;
1335      IF IMAGPEDREI = 'S' THEN
1336      BEGIN
1337      IMAGEM;
1338      END
1339      ELSE
1340      BEGIN
1341      GOTOXY(5,5);
1342      WRITE('CAPACIDADE DA TOLVA - > ',INDCST:4:2);
1343      GOTOXY(5,7);
1344      WRITE('RELEVO N - > ',INDREL);
1345      END;
1346
1347 {TOMADA POSICOES FACE AO MINIMO}

```

```

1348
1349     BEGIN
1350     CASE A OF
1351     1: BEGIN
1352         AUMENTO;      {de todos os tempos}
1353
1354     {A pá IA vai acabar a tarefa de arrumação no tempo MA(IA)}
1355
1356         P[IA]:=0;
1357         TEP[IA]:=0;
1358
1359     {Vê se há camiões na fila das pás}
1360
1361         IF FP[1]<>0 THEN
1362         BEGIN
1363             H:=0;
1364             ZI:=0;
1365
1366     {Vê qual a pá com tempo de paragem maior}
1367
1368             FOR I:=1 TO NP DO
1369             BEGIN
1370                 IF P[I]=0 THEN
1371                 BEGIN
1372                     H:=H+1;
1373                     IF H=1 THEN
1374                     BEGIN
1375                         Z[I]:=TEP[I];
1376                         ZI:=I;
1377                     END
1378                     ELSE
1379                     BEGIN
1380                         IF Z[ZI]<=TEP[I] THEN
1381                         BEGIN
1382                             Z[I]:=TEP[I];
1383                             ZI:=I;
1384                         END;
1385                     END;
1386                 END;
1387             END;
1388
1389     {Gera tempo de manobra}
1390
1391             P[ZI]:=FP[1]; {A pá recebe um camião}
1392             INDIGER:=2;
1393             X:=gergama(INDIGER,ZI);
1394             TC[P[ZI]]:=X*(CD[P[ZI]]/CP[ZI]);
1395
1396     {novo - tempo de carga do camião P[ZI]}
1397     {Chega os camiões um lugar para a frente}

```



```

1398
1399         FOR I:= 1 TO ND DO
1400             BEGIN
1401                 FP[I]:=FP[I+ 1]
1402             END;
1403         END;
1404     END;
1405     2: BEGIN
1406         AUMENTO;      {de todos os tempos}
1407
1408     {A pá IC vai acabar de carregar no tempo MC[P(IC)]}
1409     {Gera tempo de ida}
1410
1411         INDIGER:= 3;
1412         X:= gergama(INDIGER,P[IC]);
1413         TP[P[IC]]:= X;
1414         BEGIN
1415             H:= 0;
1416             ZK:= 0;
1417             I:= 1;
1418             WHILE (BV[I] < > 0) AND (TP[BV[I]] < TP[P[IC]]) DO
1419                 BEGIN
1420                     H:= H+ 1;
1421                     I:= I+ 1;
1422                 END;
1423             IF (BV[I] < > 0) AND (TP[BV[I]] > = TP[P[IC]]) THEN
1424                 BEGIN
1425
1426             {Coloca camião na fila de ida (local certo)}
1427
1428                 ZK:= ZK+ 1;
1429                 ZI:= BV[I];
1430                 BV[I]:= P[IC];
1431                 FOR H:= I+ 1 TO ND DO
1432                     BEGIN
1433                         ZZI:= BV[H];
1434                         BV[H]:= ZI;
1435                         ZI:= ZZI;
1436                     END;
1437                 END;
1438                 BEGIN
1439                     IF (H= 0) OR (ZK= 0) THEN
1440                         BEGIN
1441                             BV[I]:= P[IC]
1442                         END;
1443
1444             {A pá passa a ter índice de arrumação}
1445
1446                 P[IC]:= --1;
1447

```

```

1448 {Gera tempo de arrumação}
1449
1450         INDIGER:= 1;
1451         X:=gergama(INDIGER,IC);
1452         TA(IC):=X;
1453         END;
1454         END;
1455         END;
1456     3: BEGIN
1457         AUMENTO;      {de todos os tempos}
1458
1459 {O camião da frente da fila de ida vai para fila do britador ou descarga}
1460
1461         BEGIN
1462         I:= 1;
1463         WHILE FB[I] < > 0 DO
1464         BEGIN
1465             I:=I+ 1;
1466         END;
1467         BEGIN
1468             IF I= 1 THEN
1469             BEGIN
1470                 IF (BB=0) AND (CD[BV[1]] < (INDCST-CT)) THEN
1471
1472 {Gera tempo de descarga}
1473
1474                 BEGIN
1475                     BB:= BV[1];
1476                     INDIGER:=4;
1477                     X:=gergama(INDIGER,BB);
1478                     TD[BB]:=X;
1479                     BV[1]:=0;
1480                     END;
1481                     END;
1482                     FB[I]:=BV[1];
1483
1484 {Chega os camiões um lugar para a frente}
1485
1486                     FOR I:= 1 TO ND DO
1487                     BEGIN
1488                         BV[I]:=BV[I+ 1];
1489                     END;
1490                     END;
1491                     END;
1492                     END;
1493     4: BEGIN
1494         AUMENTO;      {de todos os tempos}
1495
1496 {O camião BB termina a descarga no tempo MD[BB]}
1497 {Verificação se o camião pode fazer nova volta}

```

```

1498
1499         TEREf:=TMC(BB)+TR;
1500         IF TEREf < -TFR THEN
1501
1502 {Gera tempo de retorno}
1503
1504         BEGIN
1505             CT:=-CT+CD(BB); {O camião descarrega}
1506             DESC:=-DESC+1; {Indicador de nº de descargas}
1507             INDIGER:=-5;
1508             X:=gergama(INDIGER,BB);
1509             TB(BB):=-X;
1510             BEGIN
1511                 H:=0;
1512                 ZK:=0;
1513                 I:=1;
1514                 WHILE (BR(I) < > 0) AND (TB(BR(I)) < TB(BB)) DO
1515                     BEGIN
1516                         H:=H+1;
1517                         I:=I+1;
1518                     END;
1519                 IF (BR(I) < > 0) AND (TB(BR(I)) > -TB(BB)) THEN
1520
1521 {Coloca camião na fila de volta (local certo)}
1522
1523             BEGIN
1524                 ZK:=ZK+1;
1525                 ZI:=BR(I);
1526                 BR(I):=BB;
1527                 FOR H:=-I+1 TO ND DO
1528                     BEGIN
1529                         ZZI:=BR(H);
1530                         BR(H):=ZI;
1531                         ZI:=ZZI;
1532                     END;
1533                 END;
1534                 IF (H=0) OR (ZK=0) THEN
1535                     BEGIN
1536                         BR(I):=BB
1537                     END;
1538                 END;
1539
1540 {Um camião avança para a descarga só se houver um camião na posição 1 da fila do britador e}
1541 {se existir disponível volume para material na tolva}
1542
1543             IF (FB(1) < > 0) AND (CD(FB(1)) < (INDCST-CT)) THEN
1544                 BEGIN
1545
1546 {Gera tempo de descarga}
1547

```

```

1548          BB:=FB[1];
1549          INDIGER:=-4;
1550          X:=gergama(INDIGER,BB);
1551          TD[BB]:=-X;
1552
1553 {Chega os camiões um lugar para a frente}
1554
1555          FOR I:=-1 TO ND DO
1556          BEGIN
1557              FB[I]:=-FB[I+1];
1558          END;
1559          END
1560          ELSE
1561          BEGIN
1562              BB:=-0;
1563          END;
1564          END
1565          ELSE
1566          BEGIN
1567              BB:=-0;
1568              IF (FB[1]<>0) AND (CD[FB[1]]<(INDCST-CT)) THEN
1569              BEGIN
1570
1571 {Gera tempo de descarga}
1572
1573              BB:=FB[1];
1574              INDIGER:=-4;
1575              X:=gergama(INDIGER,BB);
1576              TD[BB]:=-X;
1577
1578 {Chega os camiões um lugar para a frente}
1579
1580              FOR I:=-1 TO ND DO
1581              BEGIN
1582                  FB[I]:=-FB[I+1];
1583              END;
1584              END;
1585              END;
1586              END;
1587          5: BEGIN
1588              AUMENTO;          {de todos os tempos}
1589
1590 {O camião da frente da fila de volta vai para fila das pás ou para carga}
1591
1592              I:=-1;
1593              WHILE FPI[I]<>0 DO
1594              BEGIN
1595                  I:=I+1;
1596              END;
1597              IF I=1 THEN

```

```

1598      BEGIN
1599      H: = 0;
1600      ZI: = 0;
1601      FOR K: = 1 TO NP DO
1602
1603 {Vê qual a pá com maior tempo de espera}
1604
1605      BEGIN
1606      IF P[K] = 0 THEN
1607      BEGIN
1608      H: = H + 1;
1609      IF H = 1 THEN
1610      BEGIN
1611      Z[K]: = TEP[K];
1612      ZI: = K;
1613      END
1614      ELSE
1615      BEGIN
1616      IF Z[ZI] < = TEP[K] THEN
1617      BEGIN
1618      Z[K]: = TEP[K];
1619      ZI: = K;
1620      END;
1621      END;
1622      END;
1623      END;
1624      IF H < > 0 THEN
1625      BEGIN
1626      P[ZI]: = BR[1];
1627      FOR I: = 1 TO ND DO
1628      BEGIN
1629      BR[I]: = BR[I + 1];
1630      END;
1631
1632 {Gera tempo de manobra}
1633
1634      INDIGER: = 2;
1635      X: = gergama(INDIGER,ZI);
1636      TC[P[ZI]]: = X*(CD[P[ZI]]/CP[ZI]);
1637
1638 {novo - tempo de carga do caminhão P[ZI]}
1639
1640      END
1641      ELSE
1642      BEGIN
1643      FP[I]: = BR[1];
1644      FOR I: = 1 TO ND DO
1645      BEGIN
1646      BR[I]: = BR[I + 1];
1647      END;

```

```

1648         END;
1649         END
1650         ELSE
1651         BEGIN
1652             FP[I]:= BR[1];
1653             FOR I:= 1 TO ND DO
1654                 BEGIN
1655                     BR[I]:= BR[I + 1];
1656                 END;
1657             END;
1658         END;
1659         6: BEGIN
1660             AUMENTO;      {de todos os tempos}
1661
1662 {O britador termina tempo de trabalho}
1663 {O britador encrava}
1664
1665             BRITADOR:= 0;
1666             TTB:= 0;
1667
1668 {Gera tempo de encravamento}
1669
1670             GERENCRAV;
1671             TEB:= X;
1672             STEB:= STEB + TEB;
1673         END;
1674         7: BEGIN
1675             AUMENTO;      {de todos os tempos}
1676
1677 {O britador termina tempo de encravamento}
1678 {O britador entra em trabalho}
1679
1680             BRITADOR:= 1;
1681             TEB:= 0;
1682
1683 {Gera tempo de trabalho}
1684
1685             X:= gerweibull(1);
1686             TTB:= X;
1687             STTB:= STTB + TTB;
1688         END;
1689
1690         END;
1691         END;
1692     END; {RELEVO}
1693
1694     FINALIZAR;
1695
1696     IF INDREL > 1 THEN
1697         BEGIN

```

```

1698
1699     FOR I:= 1 TO ND DO
1700     BEGIN
1701         SMINFB[I]:= SMINFB[I]+INFB[I];
1702         MEDINFB[I]:= SMINFB[I]/INDREL;
1703         STINFB[I]:= STINFB[I]+ MEDINFB[I];
1704         MINFB[I]:= STINFB[I]/INDREL;
1705     END;
1706     for i:= 1 to numclass do
1707     begin
1708         smncl[i]:= smncl[i]+c/nt[i];
1709         medncl[i]:= smncl[i]/INDREL;
1710         snc[i]:= snc[i]+ medncl[i];
1711         s2mncl[i]:= s2mncl[i]+ (medncl[i]*medncl[i]);
1712         mnt[i]:= snc[i]/INDREL;
1713         m2nt[i]:= s2mncl[i]/INDREL;
1714         if (m2nt[i]-(mnt[i]*mnt[i])) < -0 then
1715         begin
1716             dp_nt[i]:=0;
1717         end
1718         Else
1719         Begin
1720             dp_nt[i]:= SQRT((m2nt[i]-(mnt[i]*mnt[i]))/(INDREL-1));
1721         end;
1722     end;
1723     SMTETSC:=SMTETSC+STETSC;
1724     MEDTSC:= SMTETSC/INDREL;
1725     STSC:= STSC+ MEDTSC;
1726     S2TSC:= S2TSC+ (MEDTSC*MEDTSC);
1727     MTSC:= STSC/INDREL;
1728     M2SC:= S2TSC/INDREL;
1729     IF (M2SC-(MTSC*MTSC)) < -0 THEN
1730     BEGIN
1731         DP_TSC:=0;
1732     END
1733     ELSE
1734     BEGIN
1735         DP_TSC:= SQRT((M2SC-(MTSC*MTSC))/(INDREL-1));
1736     END;
1737     SMEDFP:= SMEDFP+STFP;
1738     MEDFP:= SMEDFP/INDREL;
1739     SFP:= SFP+ MEDFP;
1740     S2FP:= S2FP+ (MEDFP*MEDFP);
1741     MFP:= SFP/INDREL;
1742     M2FP:= S2FP/INDREL;
1743     IF (M2FP-(MFP*MFP)) < -0 THEN
1744     BEGIN
1745         DP_FP:=0;
1746     END
1747     ELSE

```

```

1748 BEGIN
1749     DP_FP:=-SQRT((M2FP-(MFP*MFP))/(INDREL-1));
1750 END;
1751 SMEDPA:=-SMEDPA+STPA;
1752 MEDPA:=-SMEDPA/INDREL;
1753 SPA:=-SPA+MEDPA;
1754 S2PA:=-S2PA+(MEDPA*MEDPA);
1755 MPA:=-SPA/INDREL;
1756 M2PA:=-S2PA/INDREL;
1757 IF (M2PA-(MPA*MPA))<-0 THEN
1758 BEGIN
1759     DP_PA:-0;
1760 END
1761 ELSE
1762 BEGIN
1763     DP_PA:=-SQRT((M2PA-(MPA*MPA))/(INDREL-1));
1764 END;
1765 SMEDFB:=-SMEDFB+STFB;
1766 MEDFB:=-SMEDFB/INDREL;
1767 SFB:=-SFB+MEDFB;
1768 S2FB:=-S2FB+(MEDFB*MEDFB);
1769 MFB:=-SFB/INDREL;
1770 M2FB:=-S2FB/INDREL;
1771 IF (M2FB-(MFB*MFB))<-0 THEN
1772 BEGIN
1773     DP_FB:-0;
1774 END
1775 ELSE
1776 BEGIN
1777     DP_FB:=-SQRT((M2FB-(MFB*MFB))/(INDREL-1));
1778 END;
1779 SMEDPR:=-SMEDPR+PRODIA;
1780 MEDPR:=-SMEDPR/INDREL;
1781 SPR:=-SPR+MEDPR;
1782 S2PR:=-S2PR+(MEDPR*MEDPR);
1783 MPR:=-SPR/INDREL;
1784 M2PR:=-S2PR/INDREL;
1785 IF (M2PR-(MPR*MPR))<-0 THEN
1786 BEGIN
1787     DP_PR:-0;
1788 END
1789 ELSE
1790 BEGIN
1791     DP_PR:=-SQRT((M2PR-(MPR*MPR))/(INDREL-1));
1792 END;
1793 END
1794 ELSE
1795 BEGIN
1796     FOR I:-1 TO ND DO
1797         BEGIN

```



```

1798      SMINFB(I):=INFB(I);
1799      STINFB(I):=INFB(I);
1800      END;
1801      for i:= 1 to numclass do
1802      begin
1803          smncl(i):=clnt(i);
1804          sncl(i):=clnt(i);
1805          s2mncl(i):=clnt(i)*clnt(i);
1806      end;
1807
1808      SMTETSC:=STETSC;
1809      STSC:=STETSC;
1810      S2TSC:=STETSC*STETSC;
1811
1812      SMEDFP:=STFP;
1813      SFP:=STFP;
1814      S2FP:=STFP*STFP;
1815
1816      SMEDPA:=STPA;
1817      SPA:=STPA;
1818      S2PA:=STPA*STPA;
1819
1820      SMEDFB:=STFB;
1821      SFB:=STFB;
1822      S2FB:=STFB*STFB;
1823
1824      SMEDPR:=PRODIA;
1825      SPR:=PRODIA;
1826      S2PR:=PRODIA*PRODIA;
1827
1828      END;
1829
1830      tolva:= 1;
1831
1832      for i:= 1 to numclass do {estou a ver estabilizo os níveis da tolva}
1833
1834      begin
1835          if dp_nt[i] < (0.08*mnt(i)) then {condição}
1836              tolva:=tolva*1
1837          else
1838              tolva:=tolva*0;
1839      end;
1840
1841      INDREL:=INDREL+1;
1842
1843      NIVEL;
1844
1845      AZERAR;
1846
1847      PRIMEIROS_TEMPOS;

```

```

1798      SMINFB(I):=INFB(I);
1799      STINFB(I):=INFB(I);
1800      END;
1801      for i:= 1 to numclass do
1802      begin
1803          smncl[i]:=clnt[i];
1804          sncl[i]:=clnt[i];
1805          s2mncl[i]:=clnt[i]*clnt[i];
1806      end;
1807
1808      SMTETSC:=STETSC;
1809      STSC:=STETSC;
1810      S2TSC:=STETSC*STETSC;
1811
1812      SMEDFP:=STFP;
1813      SFP:=STFP;
1814      S2FP:=STFP*STFP;
1815
1816      SMEDPA:=STPA;
1817      SPA:=STPA;
1818      S2PA:=STPA*STPA;
1819
1820      SMEDFB:=STFB;
1821      SFB:=STFB;
1822      S2FB:=STFB*STFB;
1823
1824      SMEDPR:=PRODIA;
1825      SPR:=PRODIA;
1826      S2PR:=PRODIA*PRODIA;
1827
1828      END;
1829
1830      tolva:= 1;
1831
1832      for i:= 1 to numclass do {estou a ver estabilizo os níveis da tolva}
1833
1834      begin
1835          if dp_nt[i] < (0.08*mnt[i]) then {condição}
1836              tolva:=tolva*1
1837          else
1838              tolva:=tolva*0;
1839      end;
1840
1841      INDREL:=INDREL+1;
1842
1843      NIVEL;
1844
1845      AZERAR;
1846
1847      PRIMEIROS_TEMPOS;

```

```

1848
1849     END {N_RELEVOS}
1850
1851     UNTIL
1852
1853         ((tolva-1)
1854             AND (DP_FP<(0.005*MFP))
1855             AND (DP_PA<(0.005*MPA))
1856             AND (DP_FB<(0.005*MFB))
1857             AND (DP_TSC<(0.005*MTSC))
1858             AND (DP_PR<(0.005*MPR)))
1859         OR (INDREL=numaxrel);
1860
1861     WRITE(FILAOUT,MFP:8:3,'MPA:8:3',' ',
1862         MFB:8:3,'MPR:8:3','INDREL','MTSC:8:3',' ');
1863
1864     FOR I:=1 TO ND DO WRITE(FILAOUT,MINFB[I]:8:3,' ');
1865
1866     WRITELN(FILAOUT);
1867
1868     WRITELN(FILANTV,INDCST:4:2);
1869
1870     WRITELN(FILANTV);
1871
1872     FOR I:=1 TO numclass DO
1873
1874         BEGIN
1875             WRITELN(FILANTV,MNT[I]:8:3);
1876         END;
1877
1878     WRITELN(FILANTV);
1879
1880     SIMETRIA;
1881
1882     INDCST:=INDCST+PSCL;
1883
1884     INDREL:=1;
1885
1886     MTSC:=0;
1887     MFP:=0;
1888     MPA:=0;
1889     MFB:=0;
1890     MPR:=0;
1891
1892     for i:=1 to numclass do novo}
1893     mnt[i]:=0;
1894
1895     FOR I:=1 TO ND DO MINFB[I]:=0;
1896
1897     NUMTOLVA:=NUMTOLVA+1;

```

```

1898
1899  END {TOLVA}
1900
1901  UNTIL
1902
1903          {Critério de paragem da análise das tolvas}
1904
1905 (ABS(MODA-((INDCST-CIT)/2)) < - 2) OR (INDCST > - CST);
1906
1907  CLRSCR;
1908
1909  IF IMAGPEDREI = 'N' THEN
1910
1911      BEGIN
1912
1913          GOTOXY(5,5);
1914          WRITE('CAPACIDADE DA TOLVA -> ',(INDCST-PSCL):4:2);
1915          GOTOXY(5,7);
1916          WRITE('TOLVA Nº',NUMTOLVA);
1917
1918          GOTOXY(7,14);
1919          WRITE('DADOS RELATIVOS AO HISTOGRAMA DE NIVEIS');
1920          GOTOXY(10,15);
1921          WRITE('Nº DE NIVEIS -----> ',III-1);
1922          GOTOXY(10,16);
1923          WRITE('MEDIA -----> ',MEDIA:8:3);
1924          GOTOXY(10,17);
1925          WRITE('DESVIO PADRÃO -----> ',DESVPAD:8:3);
1926          GOTOXY(10,18);
1927          WRITE('MODA -----> ',MODA:8:3);
1928          GOTOXY(10,19);
1929          WRITE('CLASSE DE NIVEL DA MODA -> ',INDICA);
1930
1931      END;
1932
1933  CLOSE(FILAOUT);
1934  CLOSE(FILANTV);
1935
1936
1937  END.

```



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000030920