

OTIMIZAÇÃO DE DESPERDÍCIO NO CORTE DE PEÇAS PARA REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIES EM PROCESSOS BIM

Análise e melhoria do processo

GABRIEL FILIPE DE SANTOS E CAMPOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

JUNHO DE 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família e Amigos

Eu também quero a volta à natureza. Mas essa volta não significa ir para trás, e sim para a frente.

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho, nomeadamente:

- Ao meu orientador, Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins, por todo o apoio e paciência que teve comigo. Agradeço-lhe pela sua boa disposição, compreensão, conselhos e a total disponibilidade que revelou em todas as fases do trabalho e, acima de tudo, pela confiança que depositou em mim;
- Ao Fábio Araújo, da Empresa ACA Engenharia & Construção (Grupo ACA), pelo apoio prestado, total disponibilidade, sugestões recebidas e empenho na ajuda à realização deste trabalho;
- Aos meus pais e irmãs, pelo apoio que me deram em todas as fases da minha vida, que se revelou crucial para a elaboração desta dissertação. Agradeço-lhes a sua compreensão e a habitual motivação com que pude contar ao longo deste trabalho;
- Ao meu primo e amigo Miguel Rodrigues, pelo seu apoio incondicional e pelo ânimo e alegria que me motivaram a concluir este trabalho;
- Ao meu tio Helder Santos, pelas palavras de suporte e pela grande ajuda que me deu ao longo do projeto, inclusive nas revisões finais. Agradeço por todas as suas valiosas críticas e sugestões de trabalho;
- Aos meus colegas de curso, pela companhia, compreensão e apoio com que sempre pude contar ao longo destes 5 anos de percurso conjunto;
- À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelo mundo de conhecimentos e oportunidades que me abriu e que definirão toda a minha vida futura;
- A todos os intervenientes que contribuíram para a correta redação do documento presente.

RESUMO

As questões relacionadas com a otimização de recursos estão cada vez mais na ordem do dia, já não só pela inerente redução dos custos em matéria prima e em mão de obra, mas também pelos impactos no consumo dos recursos naturais do planeta e nas várias formas de poluição gerada.

Neste trabalho será explorado o problema da otimização do corte de peças de cobertura de superfícies (pavimentos, paredes, tetos, etc.), uma questão com grande relevância para o caso particular do setor AEC.

Para tal, será feita uma análise do estado da arte e, através de um processo já definido e em uso pela Empresa, explorar esse método de criação de planos de corte. A partir daqui, será construído um guião para um programa de gestão integrada do processo, que seja mais orientado para as necessidades específicas do setor AEC e, por último, será estudada a possibilidade de desenvolvimento de melhorias imediatas na solução adotada pela Empresa.

Na primeira parte do trabalho, será analisado o que está a ser feito por outras indústrias no domínio do problema de corte de peças e que ferramentas foram encontradas ou desenvolvidas para responder a essas necessidades.

Na segunda parte, serão analisadas as ferramentas e as metodologias empregues pela Empresa nesta tarefa, sendo estudadas as ferramentas de modelação e extração de informação utilizadas no Autodesk Revit, os passos para obter dados utilizáveis e a ferramenta utilizada na geração de planos de corte, terminando com uma descrição dos pontos fortes e fracos do que foi observado.

Na terceira parte, serão listados os objetivos e as funções a cumprir por parte de um programa de planeamento de corte, a desenvolver de raiz e que contenha tanto o que já exista de útil noutros programas, como o que é necessário para o setor AEC, mas não se encontram noutro programa, por ser demasiado específico da mesma.

Por último, será feita uma comparação entre os programas pesquisados na primeira parte e a ferramenta geradora de planos de corte em uso pela Empresa para procurar alternativas à mesma. Será também programada uma ferramenta, em Autodesk Revit, com o objetivo de melhorar a modelação e a extração de informação das peças de revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Revit, sustentabilidade, corte de peças, otimização

ABSTRACT

Issues related with the optimization of resources are becoming increasingly important, not just because of the inherent reduction in raw material and labor costs, but also because of the impacts on the expenditure of the planet's natural resources and the various forms of pollution that are generated.

In this work, the problem of optimizing the cutting of surface coverings (for floors, walls, ceilings, etc.) will be explored, an issue with great relevance to the particular case of the construction industry.

To this end, an analysis of the state of the art will be carried out and, through a process already defined and in use by the Company, this method of creating cutting plans will be explored. From here, a roadmap will be built for an integrated process management program that is more oriented to the specific needs of the AEC sector and, finally, a study of the possibility of developing immediate improvements in the solution implemented by the Company will be carried out.

In the first part of the work, an analysis of what is being done by other industries in the field of cutting optimization and (what solutions they have found or developed) will be conducted.

In the second part, the tools and methodologies used by the construction company will be analyzed by going through the modelling and information extraction tools used in Autodesk Revit, the steps to obtain usable data and the tool used in the generation of cutting plans, ending with a description of the strengths and weaknesses of what was observed.

In the third part, the objectives and functions to be fulfilled by a cutting planning program, to be developed from scratch, will be listed. This list will contain what already exists and is useful in other programs, and what is necessary for the AEC industry, but does not exist in any other program, because it is too specific to said industry.

Finally, a comparison will be made between the programs researched in the first part and the cutting plan generator tool in use by the company in an attempt to search for an alternative. Also, a tool will be programmed with the objective of improving the modeling and extraction of information from the surface covering parts.

KEYWORDS: BIM, Revit, sustainability, part cutting, optimization

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA PROMOTORA DO PROJETO	2
1.3. ÂMBITO.....	3
1.4. ESTRUTURA DO PRESENTE TRABALHO	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. CARACTERIZAÇÃO	5
2.2. SUSTENTABILIDADE	5
2.3. ABORDAGENS E SOLUÇÕES EXISTENTES NOUTRAS ÁREAS DE ATIVIDADE.....	6
2.4. A ABORDAGEM DA ACA.....	11
3. PROCESSO ATUAL - DESCRIÇÃO, APLICAÇÃO E DISCUSSÃO	13
3.1. DESCRIÇÃO	13
3.1.1. PONTO DE PARTIDA.....	13
3.1.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL	14
3.2. DESCRIÇÃO DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO (REVIT)	15
3.2.1. TABELAS DE ESTEREOMETRIA	15
3.2.2. FOLHAS DE ESTEREOMETRIA	16
3.2.3. DYNAMO	18
3.3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE CORTE (COP).....	19
3.4. DESCRIÇÃO DA OBRA/PROJETO.....	19
3.5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO ATUAL.....	23
3.5.1. MODELAÇÃO DOS ELEMENTOS EM REVIT	23

3.5.2. LIMITAÇÕES DA EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DO MODELO NA SUA FORMA ATUAL	25
3.5.3. CRIAÇÃO DE FERRAMENTA EM DYNAMO PARA MELHORAR A ANÁLISE	25
3.5.4. USO DO PROGRAMA DE CORTE DE PEÇAS	27
3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO SOBRE O PROCESSO ATUAL	28
3.6.1. RESULTADOS E CONCLUSÕES SOBRE AS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO	28
3.6.1.1. Resultados do processo de modelação.....	28
3.6.1.2. Conclusões sobre o Revit.....	30
3.6.2. RESULTADOS E CONCLUSÕES SOBRE O PROGRAMA DE CORTE	33
3.6.2.1. Resultados sobre as funções do programa de corte	33
3.6.2.2. Análises das dos resultados dos casos de estudo	35
3.6.2.3. Conclusões sobre o COP	42
3.7. CONCLUSÕES SOBRE O PROCESSO ATUAL	44
4. FUNCIONALIDADES A PREVER NUM PROGRAMA DE CORTE DE PEÇAS	45
4.1. DESCRIÇÃO	45
4.2. FUNCIONALIDADES A PREVER.....	46
4.2.1. FUNCIONALIDADES GERAIS	46
4.2.2. O QUE SE ESPERA RECEBER DA APLICAÇÃO	47
4.2.3. INFORMAÇÃO A FORNECER AO PROGRAMA	49
4.2.4. INTRODUÇÃO E REGISTO DE DADOS	50
4.2.5. LIGAÇÃO A OUTRAS APLICAÇÕES DA EMPRESA.....	54
5. MELHORIAS AO PROCESSO ATUAL.....	55
5.1. DESCRIÇÃO	55
5.2. COMPARAÇÃO DE OUTROS PROGRAMAS DE CORTE COM O COP	55
5.3. CRIAÇÃO DE CÓDIGO	57
6. RESULTADOS OBTIDOS COM O CÓDIGO DESENVOLVIDO	67
6.1. CÓDIGO CRIADO.....	67
6.2. MELHORIAS CONSEGUIDAS	68

7. CONCLUSÕES	71
7.1. TAREFAS EXECUTADAS	71
7.2. RESULTADOS PRODUZIDOS	71
7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 75
 ANEXO 1. DETALHE DOS DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS FIGURAS 23, 24 E 25	 79
ANEXO 2. DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROGRAMA DE CORTE (COP)	83
ANEXO 3. LISTAGEM DAS DIFERENTES VARIANTES USADAS	91
ANEXO 3.1. VARIANTES DE TESTE	91
ANEXO 3.2. VARIANTES DE OTIMIZAÇÃO	94
ANEXO 4. DETALHE DOS BLOCOS DO FLUXOGRAMA APRESENTADO NO CAPÍTULO 4	97
ANEXO 5. DETALHE DOS DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS FIGURAS 40, 46, 47. 48. 49. 50 E 52	101
ANEXO 6. GLOSSÁRIO	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Exemplo de lógica subtrativa na marcenaria. Divisão de uma placa de madeira em peças mais pequenas - ferramenta AudioKit [20].....	7
Fig. 2 - Exemplo de lógica subtrativa no setor da confeção. Divisão de uma peça de tecido em peças parciais - ferramenta molde.me [13].....	7
Fig. 3 - Exemplos de lógica aditiva em páginas de anúncios classificados do "Jornal de Notícias" de 07/10/2009 e de 11/10/2009 – ferramenta: programa SIG@	8
Fig. 4 - Exemplo de otimização do corte de uma peça completa (lógica subtrativa), a obter do COP ..	13
Fig. 5 - Esquema do procedimento atual (legenda no canto inferior direito)	14
Fig. 6 - Exemplo de uma tabela de estereometria, gerado a partir do projeto de moradia base do estudo	16
Fig. 7 - Exemplo de uma folha de estereometria preenchida com a estereometria das peças de um projeto (formato para folha A1).....	17
Fig. 8 - Exemplo de vistas e uma chamada de detalhe alinhadas com as faces que contêm peças ...	17
Fig. 9 - Corte anotado com todas as medidas de painéis, juntas, espaços entre painéis e outros elementos construtivos, marcas dos painéis e vista limpa	18
Fig. 10 - Exemplo de programação por blocos.....	19
Fig. 11 - Planta do rés-do-chão.....	19
Fig. 12 - Planta do 1º andar.....	20
Fig. 13 - Recorte da folha de estereometria dos ladrilhos do caso de estudo 0	20
Fig. 14 - Ladrilhos do caso de estudo 1	21
Fig. 15 - Ladrilhos do caso de estudo 2	21
Fig. 16 - Ladrilhos do caso de estudo 3	22
Fig. 17 - Tábuas do caso de estudo 4	22
Fig. 18 - Menu contendo a ferramenta de paredes de cortina.....	23
Fig. 19 - Menu contendo a ferramenta de vidraça inclinada.....	23
Fig. 20 - Exemplo de uma das secções de fronteira mais complexas, mostrando a necessidade de ajuste manual no processo.....	24
Fig. 21 - Exemplo de fronteira de painéis em cruz com vários elementos que não deveriam existir, resultantes do alinhamento das peças e identificados a azul (cor mais clara, se a preto e branco)	25
Fig. 22- Código desenvolvido para registar a área real dos ladrilhos.....	26
Fig. 23 - Grupo de blocos responsável pela seleção e filtragem das peças.....	26
Fig. 24 - Grupo de blocos responsável pela extração dos valores das áreas	27
Fig. 25 - Grupo de blocos responsável por carregar os valores das áreas dentro do parâmetro "Área_ladrilho".....	27
Fig. 26 - Janela de seleção da informação a importar para Excel a partir da tabela extraída	27
Fig. 27 - Introdução de dados no painel de peças completas	28
Fig. 28 - Vista do piso da casa de banho	29
Fig. 29 - Exemplo de ladrilho base no qual as medidas do painel não são extraídas	32
Fig. 30 - Painel feito segundo a otimização "De ponta a ponta".....	34
Fig. 31 - Painel feito segundo a otimização "Seguir o contorno das peças".....	34
Fig. 32 - Painel feito segundo a otimização "Múltiplos estágios (De ponta a ponta)"	35
Fig. 33 - Vista dos painéis aparados. O painel P3 era originalmente 600x325mm ² e o painel P4 era 380x325mm ²	36
Fig. 34 - Vista das duas peças com cortes não lineares (P4 e P5)	37

Fig. 35 - Plano de corte de um dos ladrilhos no caso de estudo 2.....	38
Fig. 36 - Imagem da estereometria da biblioteca no caso de estudo 2, com os ladrilhos alinhados com o canto inferior direito.....	41
Fig. 37 - Fluxograma representativo das grandes áreas funcionais que o programa deve prever.....	46
Fig. 38 - Exemplo das primeiras 4 páginas de um plano de corte gerado pelo COP.....	47
Fig. 39 - Diagrama de blocos do código da segunda versão.....	58
Fig. 40 - Grupo relacionado com seleção e filtragem.....	58
Fig. 41 - Grupo relacionado com os parâmetros de local.....	59
Fig. 42 - Separação entre ladrilhos horizontais e verticais (no bloco à direita o “in” é por onde saem os ladrilhos marcados como horizontais e o “out” por onde saem os marcados como verticais).....	59
Fig. 43 - Determinação do ambiente associado a cada ladrilho (o conjunto acima é para os ladrilhos horizontais e o de baixo é para os verticais).....	60
Fig. 44 - Exemplo demonstrativo da organização dos resultados numa simulação. À esquerda estão os pontos que representam o centro do ladrilho. À direita a lista que repete o mesmo ambiente (room) várias vezes, conforme a ordem dos ladrilhos.....	61
Fig. 45 - Extração e aplicação de informação.....	62
Fig. 46 - Registo de alçado do ladrilho vertical.....	63
Fig. 47 - Grupo responsável pela atribuição de dimensões.....	63
Fig. 48 - Grupo de blocos responsável por gerar e atribuir marcas às peças.....	64
Fig. 49 - Separação de ladrilhos em verticais e horizontais.....	64
Fig. 50 - Agrupamento de ladrilhos segundo o comprimento e a largura.....	64
Fig. 51 - Atribuição de marca.....	65
Fig. 52 - Grupo responsável pela exportação para Excel.....	66
Fig. 53 - Tabela gerada pelo código criado.....	67
Fig. 54 - Esquema do procedimento novo (legenda no canto inferior direito).....	69
Fig. 55 - detalhe da Fig. 23, página 26.....	79
Fig. 56 - detalhe da Fig. 24, página 27.....	80
Fig. 57 - detalhe da Fig. 25, página 27.....	81
Fig. 58 - Os dois painéis de introdução de dados, conforme são apresentados no COP.....	83
Fig. 59 - Exemplo de um dos painéis que possibilitou mais cortes, conforme representado no plano.....	84
Fig. 60 - Exemplo de uma tabela de outras estatísticas.....	85
Fig. 61 - Janela de configuração de cortes 2D.....	85
Fig. 62 - Janela de configuração de cortes 1D.....	86
Fig. 63 - Janela de configuração de definições gerais.....	87
Fig. 64 - Janela de configuração para gerir os tipos de materiais.....	88
Fig. 65 - Janela de configuração para gerir os tipos de bandas borda.....	89
Fig. 66 - Janela de configuração para gerir componentes extra.....	89
Fig. 67 - Fluxograma representativo das grandes áreas funcionais que o programa deve prever (repetição para enquadramento).....	97
Fig. 68 - Detalhe do bloco 1: Entrada de dados.....	98
Fig. 69 - Detalhe do bloco 2: Informação logística da obra.....	98
Fig. 70 - Detalhe do bloco 3: Informação técnica da obra.....	99
Fig. 71 - Detalhe do bloco 4: Seleção de componentes.....	99
Fig. 72 - Detalhe do bloco 5: Saída de informação tratada.....	100
Fig. 73 - detalhe da Fig. 40, página 58.....	101
Fig. 74 - detalhe da Fig. 46, página 64.....	102
Fig. 75 - detalhe da Fig. 47, página 64.....	103

Fig. 76 - detalhe da Fig. 49, página 64.....	104
Fig. 77 - detalhe da Fig. 50, página 65.....	105
Fig. 78 - detalhe da Fig. 52, página 66.....	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo gasto nas modelações	30
Tabela 2 - peças disponíveis (stocks) em armazém.....	48
Tabela 3 - Caraterização das peças – especificação das caraterísticas base (tabela para uso permanente).....	51
Tabela 4 - Caraterização das peças – continuação 1. Especificação de custos e fornecedores do material (tabela para uso permanente)	51
Tabela 5 - Caraterização das peças – continuação 2. Caraterísticas do material a ter em consideração (tabela para uso permanente).....	52
Tabela 6 - Caraterização das peças – continuação 3. Especificação dos materiais complementares e equipamentos necessários (tabela para uso permanente).....	52
Tabela 7 - Listagem de materiais complementares (tabela para uso permanente) (Fig. 68)	52
Tabela 8 - Listagem de equipamentos (tabela para uso permanente) (Fig. 68).....	52
Tabela 9 - Especificação de custos de mão de obra interna (tabela para uso permanente) (Fig. 68) .	53
Tabela 10 - Base de dados de prestadores de serviços (tabela para uso permanente) (Fig. 68)	53
Tabela 11 - Prazos de execução (tabela específica da obra)	53
Tabela 12 - Endereço, caraterísticas e contactos da obra (tabela específica da obra).....	53
Tabela 13 - Tempo gasto nas novas modelações.....	68

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

1D - One Dimension (unidimensional)

2D - Two Dimensions (bidimensional)

3D – Three Dimensions (tridimensional)

ACA - Alberto Couto Alves, S.A.

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Modeling (Modelagem de Informação da Construção ou Modelagem de Informação para a Construção)

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

COP – Cutting Optimization Pro

CSV – Comma Separated Value (Valores Separados por Vírgulas)

ERP – Enterprise Resource Planning (Planeamento de Recursos Empresariais)

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PDF – Portable Document Format (Formato Portátil de Documento)

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

As ferramentas informáticas permeiam praticamente todas as áreas de atividade humana. Esta realidade ocupa todos os aspetos, desde as fases de conceção e projeto até à execução e ao controlo e gestão dos equipamentos produtivos, passando pela logística e pelas atividades financeiras e de gestão.

No que diz respeito a estas ferramentas informáticas, podemos considerar quatro fases de integração nos processos das empresas:

1. Sistemas eletrónicos: Com a introdução dos computadores, as empresas passaram a automatizar processos, como folhas de pagamento e gestão de inventário, utilizando computadores pessoais ou *mainframes*.
2. Sistemas integrados (ERP e CRM), orientados para as atividades de gestão, recursos humanos e relação com clientes: O surgimento de sistemas integrados, como ERP e CRM, permitiu a automação e integração de diversas funções da empresa, como finanças, vendas, recursos humanos e atendimento ao cliente.
3. Sistemas para responder às necessidades operacionais da empresa: Desenvolvimento de aplicações e sistemas capazes de gerir e otimizar processos produtivos, como seja o caso de: conceção de produtos, desenho, produção. Estão neste grupo os programas de CAD.
4. Soluções de nicho: Soluções capazes de responder às necessidades específicas de uma dada atividade empresarial. No caso em discussão é exemplo a otimização do corte de revestimentos.

Naturalmente que a Construção Civil e as atividades relacionadas não são exceção, começando pelas áreas mais antigas e já consideradas tradicionais, como as atividades financeiras e de gestão e avançando para as mais específicas, como orçamentação, aprovisionamento, gestão de *stocks* e de equipamentos e gestão de contratações. Com efeito, esta realidade ocupa todos os aspetos, desde as fases de conceção e projeto até à execução e ao controlo e gestão dos equipamentos produtivos, passando pela logística e pelas atividades financeiras e de gestão.

Entretanto, também surgiram ferramentas, que já são indispensáveis, no suporte às atividades de projeto e de desenho e à geração de *outputs* para uso pelas empresas parceiras no projeto, clientes, subcontratantes e entidades públicas, setor a que se convencionou designar por BIM, acrónimo para *Building Information Modeling*.

De uma forma simplista, podemos considerar que o setor está agora na quarta fase, que corresponde ao uso de suporte informático nas necessidades mais específicas de apoio a atividades de detalhe (atividades de nicho), áreas em que ainda há ferramentas não totalmente desenvolvidas ou com processos de

integração deficientes [47], como seja a otimização do uso de matérias primas, a gestão de desperdícios e o cumprimento de normas ambientais, entre outras.

Insere-se neste caso a gestão do corte e da aplicação de peças de cobertura, atividade em que um bom detalhe do corte das peças pode levar à otimização dos recursos humanos, de materiais e de tempo e às consequentes mais valias em termos de custos, redução do tempo de análise de várias alternativas, do tempo de execução da tarefa e, não menos importante, redução de resíduos com a consequente melhoria dos impactos ambientais e contributo para os ODS da Empresa.

Deve ser referido que estas ferramentas podem, em função do que for modelado, definir as quantidades de materiais a encomendar, as necessidades de mão de obra, o tempo de execução da tarefa, as datas ótimas para entrega dos materiais no estaleiro de obra, orçamentar a tarefa e comunicar com o sistema centralizado de gestão (ERP) para enviar as informações para a geração das notas de encomenda a fornecedores e subcontratantes e para faturação. No limite, poderá inclusivamente comunicar com os sistemas informáticos dos fornecedores e prestadores de serviços para lhes transmitir as notas de encomenda. As lógicas associadas e estes processos constituem um processo de gestão de cadeia de fornecimento, atividade que está já bem desenvolvida nos mais diversos setores de atividade, sendo bons exemplos, pela sua abrangência e complexidade os setores do retalho (supermercados) [1], [2], [3], [4] e da produção automóvel [5], [6], [7].

E mais à frente é possível esperar que venham a conseguir:

- Ligação a máquinas de corte automático, como ferramentas de corte laser ou a jato de água, o que contribuirá para o aumento na velocidade de execução dos trabalhos de preparação, na qualidade e rapidez do corte e num melhor aproveitamento dos materiais e, por consequência, numa maior redução dos custos associados às atividades;
- Uso da inteligência artificial, ainda difícil de caracterizar, mas que certamente permitirá aos programas usados “aprender” com os trabalhos já realizados e, em consequência, melhorar a rapidez e a eficácia de trabalhos futuros. Poderá também aprender para propor os materiais mais adequados para cada projeto específico e as opções de corte mais eficazes.

1.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ALBERTO COUTO ALVES S.A.

A empresa que acolheu este projeto é a ACA, Engenharia e Construção, empresa do Grupo ACA.

O Grupo ACA tem sede em Vila Nova de Famalicão e foi fundado em 1982, operando então nas áreas das infraestruturas e evoluindo para um vasto conjunto de obras públicas e privadas espalhadas por diversos setores, embora correlacionados:

- Construção Civil e obras públicas;
- Requalificação urbana;
- Vias de comunicação;
- Edifícios residenciais;
- Hotelaria;
- Reabilitação;
- Geotecnia;
- Obras fluviais;
- Paisagismo;
- Sistemas de água;
- Gestão de resíduos.

O Grupo tem já atividades em vários países, espalhados por 3 continentes, com especial relevo para Portugal, Angola, Brasil, França e São Tomé e Príncipe. Para isso conta com uma equipa de recursos humanos superior a 2.000 pessoas e possui uma carteira de trabalhos, para os próximos anos, que se aproxima dos 1.000M€ [8].

1.3. ÂMBITO

Partindo da situação concreta de uso, pela Empresa:

- Do programa Autodesk Revit (que passaremos a designar apenas por Revit) para criar modelos a partir dos projetos previamente fornecidos e para definir a distribuição das peças numa dada superfície;
- Do programa Cutting Optimization Pro, da empresa romena “S.C. Optimal Programs SRL” (que passaremos a designar apenas pelo acrónimo COP), para determinar a otimização de corte de peças parciais.

Verificando-se ainda que os dois programas têm lacunas na comunicação entre si, que serão apresentadas neste trabalho, pretende-se com este projeto:

1. Analisar o potencial das ferramentas de modelação e extração de informação (Revit) empregues pela Empresa e definir:
 - Se a solução é eficiente e, se não, onde é que falha;
 - As funções que estão em falta;
2. Estudar a ferramenta de corte de peças (COP), analisar o seu potencial nas atividades da Empresa e definir:
 - Se a solução acrescenta valor aos projetos;
 - Que lacunas é que esta solução tem face ao que é necessário para um programa de otimização de corte;
 - Se existem alternativas potencialmente mais eficazes e/ou mais interessantes;
3. Definir a lista de funcionalidades que um programa de corte de peças deverá incluir por forma a responder, com mais eficiência, às necessidades da Empresa e do setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) em geral, incluindo:
 - Que funções é que esta ferramenta deveria ter;
 - Que objetivos é que deve cumprir;
4. Criar uma ferramenta que funcione como *addon* ao Revit e seja capaz de solucionar os pontos fracos detetados nas ferramentas de modelação e extração de informação.

Para concretizar os dois primeiros pontos serão modelados casos de estudo na ferramenta de modelação (Revit), sendo depois aplicados no programa de corte de peças (COP). Seguidamente elaboraremos uma lista das funções que um programa de geração de planos de corte, que procurará ser específica e completa para o setor, deverá ter e, por último, procuraremos criar, em Revit, uma ferramenta que melhore o automatismo do processo e procure reduzir o tempo de execução e o erro humano.

1.4. ESTRUTURA DO PRESENTE TRABALHO

Partindo da situação atual para a situação ótima, definiu-se a sequência de atividades a seguir identificada:

Primeiro, é analisado o estado da arte, no que diz respeito ao problema de corte de peças, para compreender melhor a base do problema, sendo também elucidado o porquê deste problema importar para as questões de sustentabilidade (capítulo 2).

De seguida, é feita uma análise aprofundada do processo atualmente empregue pela Empresa, passando por (capítulo 3):

1. Uma descrição das ferramentas usadas dentro do Revit para tratar da modelação e da extração de informação;
2. Uma descrição do programa utilizado para gerar os planos de corte de peças (COP), que inclui alguma informação preliminar acerca das funções nele contidas e que vão ser analisadas (Anexo 1);
3. Uma descrição do processo atual de gerar planos de corte de peças, princípio a fim, juntamente com um esquema para melhor visualização;
4. Um relato da implementação do processo mencionado anteriormente num conjunto de exemplos feitos para este trabalho;
5. As conclusões acerca das ferramentas de modelação e do programa de corte de peças, apresentando uma análise dos resultados da implementação e os pontos fortes e fracos das ferramentas utilizadas.

Em terceiro lugar é apresentado um guião para uma proposta de programa capaz de cumprir com todas as tarefas dentro ou fora do programa de modelação (Revit ou outro), descrevendo as funções e objetivos a cumprir e tendo o cuidado de adicionar funções que não existem em outros programas, por serem muito específicas do setor AEC (capítulo 4). Embora já existam soluções que procuram endereçar este problema, como seja o apresentado no “5º Congresso Português de Building Information Modelling”¹ [47], pensamos que ainda é possível dar algum contributo para a sua evolução.

Por último, procuram-se alternativas e melhorias ao processo atual, seguindo duas vertentes (capítulo 5):

- Comparar os programas encontrados e apresentados no estado da arte (capítulo 2.3) com o COP para encontrar melhores alternativas a este;
- Codificar uma ferramenta, a funcionar dentro do Revit, destinada a tornar mais rápido, eficaz e menos sujeito a erros o processo de modelação e extração de informação.

Sendo depois descrito o resultado destes esforços e esboçado um esquema novo a mostrar o processo atualizado (capítulo 6).

¹ Congresso realizado de 8 a 10 de maio de 2024, o que mostra a atualidade destas questões.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. CARATERIZAÇÃO

Por corte e gestão de peças designaremos o conjunto de atividades associadas à receção da informação relativa à geometria de um espaço, à definição das peças de cobertura a utilizar (formas, dimensões e materiais), à definição da disposição dessas peças no espaço e a alguns outros dados complementares. Deste conjunto de informações de entrada deverá resultar:

- A definição das dimensões de cada peça específica, para a sua aplicação otimizada;
- A indicação da melhor opção de corte de peças completas nas peças parciais necessárias, por forma a otimizar o número total de peças a adquirir e a minimizar os desperdícios (2D Bin Packing);
- A indicação do número de peças a adquirir, por tipologia;
- A orçamentação.

A necessidade de definição rigorosa e otimizada dos cortes de peças de cobertura e da respetiva gestão é uma atividade de nicho no todo da Construção Civil, ainda pouco explorada, mas de grande relevância pelas implicações que traz em termos de:

- Orçamentação da obra;
- Economia de materiais, que frequentemente têm um peso significativo no custo total do projeto;
- Economia de mão de obra;
- Redução de resíduos;
- Impacto no tempo de execução da obra;
- Impacto nos ODS da Empresa.

Uma aplicação eficaz neste setor pode, também, ter um papel importante na otimização de processos se for integrada com os programas a montante (ERP, CAD, ...) e a jusante (faturação, emissão de notas de encomenda, gestão de stocks, gestão de fornecedores e de prestadores de serviços, ...).

2.2. SUSTENTABILIDADE

No dia 5 de maio de 2025, Portugal esgotou os recursos naturais que tinha disponíveis para todo o ano [9]. Esta situação é, obviamente, insustentável e todas as medidas que possam ser tomadas para a mitigação do problema são importantes. Mesmo que sejam pouco relevantes se consideradas individualmente, todas as ações que ajudem a melhorar a sustentabilidade do planeta são importantes, mas, se considerarmos a escala e importância das atividades relacionadas com a Construção Civil no planeta, o efeito multiplicador sobre essas pequenas ações pode levar a melhorias muito significativas.

Das questões de sustentabilidade, o consumo de recursos é um dos componentes mais importantes. Desde a primeira revolução industrial, as várias empresas e governos do mundo extraem os recursos naturais do planeta a ritmos cada vez maiores, sem se preocuparem com as consequências das suas ações. Isto leva à exaustão, a prazo, dos recursos naturais e tem resultado em vários problemas e catástrofes como a poluição de rios, devido a descargas dos restos de operações mineiras, emissões de CO2 descontroladas advindas de veículos, centrais de energia e outras fábricas, desflorestação devido ao abate descontrolado de florestas inteiras, entre outros.

Uma das formas de combater esta extração excessiva de recursos é através do melhor uso dos mesmos. Ao garantir que são aproveitados o máximo possível, as necessidades de recursos novos decrescem, permitindo abrandar a extração e minimizando os problemas para a saúde do ambiente. Algumas das formas de garantir um uso melhor dos recursos naturais são o fabrico de produtos mais duradouros e/ou de reparação mais fácil, a reutilização e reaproveitamento de materiais descartados ou dos seus componentes e assegurar que os produtos são usados o máximo possível, de forma a garantir o seu uso mais prolongado. Outra opção é a otimização de processos, com a consequente redução de desperdícios.

E é aqui que se coloca a questão do corte de peças para revestimento de superfícies. Esta atividade é inevitável, visto que, de alguma forma, uma superfície inteira tem de ser coberta e, a não ser que os elementos sejam pequenos o suficiente ou que a superfície seja dimensionada de tal forma que caibam elementos inteiros, vai ser sempre preciso cortar algumas peças para garantir a cobertura de todo o espaço. É neste corte, se feito de forma indiscriminada, que está o desperdício do processo, que se deverá procurar evitar.

Torna-se, por isso, imperioso otimizar o processo de corte, retirando o máximo possível de peças parciais a partir das peças base disponíveis. Deste processo de otimização resultará não só o menor consumo de matérias primas como também as inerentes reduções de custos de aquisição, de desperdícios, de necessidade de transporte de matérias primas e de resíduos e de necessidade de aterro.

É, portanto, óbvio que o problema de corte de peças está associado às questões de sustentabilidade por ter a ver com os esforços para diminuir o gasto de recursos.

A Empresa está atenta para esta problemática e procura constantemente otimizar os seus processos no sentido de garantir um melhor uso dos recursos disponíveis.

2.3. ABORDAGENS E SOLUÇÕES EXISTENTES NOUTRAS ÁREAS DE ATIVIDADE

O problema do corte de peças (2D Bin Packing) não é específico deste setor de atividade e existe em várias indústrias, como as do vidro, da marcenaria e dos têxteis em moldes que podem ser equiparados ao da Construção Civil. No entanto, de todas estas, o setor AEC parece ser a que apresenta menos pesquisa e soluções neste campo. Todas as outras indústrias têm metodologias e programas montados, prontos para tratar deste problema e já integrados com os demais sistemas informáticos das empresas.

No desenvolvimento desta atividade existem duas possibilidades, a que chamaremos:

- lógica subtrativa – divisão de uma peça grande em porções menores, assumindo a possibilidade de haver algum desperdício final e procurando a sua minimização (exemplo: divisão de uma peça de vidro ou uma placa de madeira em unidades mais pequenas, conforme as necessidades de aplicação);
- lógica aditiva – colocar um conjunto de peças organizadamente, por forma a compor uma área grande, que se pretende inteiramente preenchida (ex: aplicação de peças cerâmicas).

Embora existam já bastantes soluções e boas práticas para a resolução dos problemas de lógica subtrativa, por força das necessidades noutros setores de atividade (marcenaria [10][11] (Fig. 1), vidraria [12], metalomecânica, cartonagem, indústrias de confeções [13][14][15][16][17][18][19] (Fig. 2) e de corte de peles), já para a lógica aditiva não parece haver muitas soluções eficazes.



Fig. 1 - Exemplo de lógica subtrativa na marcenaria. Divisão de uma placa de madeira em peças mais pequenas - ferramenta AudioKit [20]

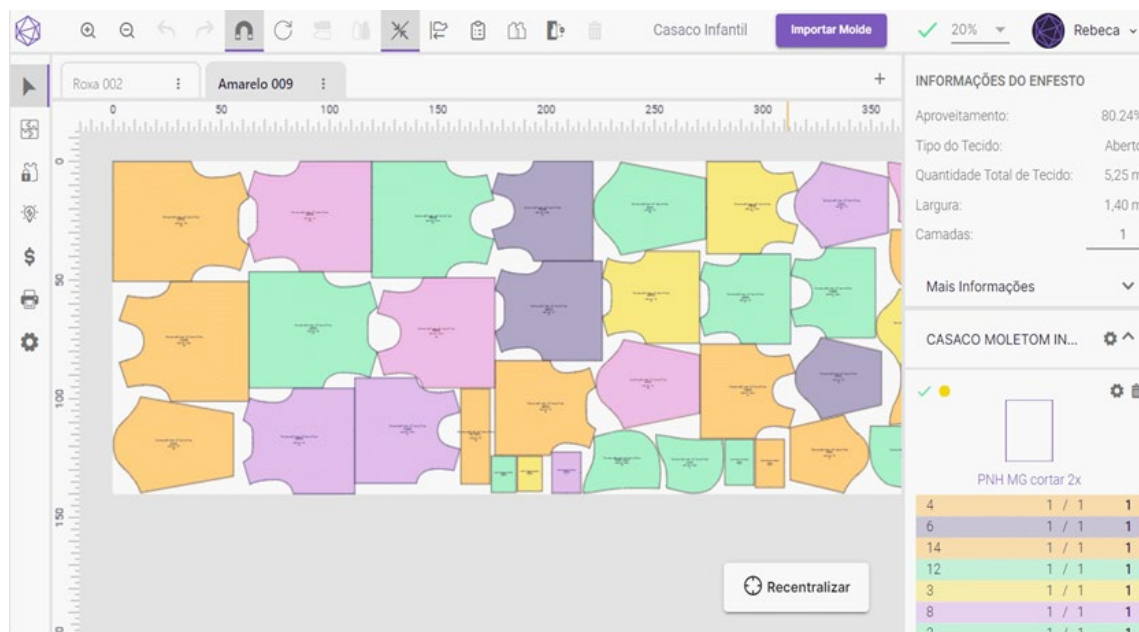


Fig. 2 - Exemplo de lógica subtrativa no setor da confeção. Divisão de uma peça de tecido em peças parciais - ferramenta molde.me [13]

O único exemplo significativo encontrado para uma boa aplicação da lógica aditiva foi a associada às artes gráficas, no respeitante a paginação dos diferentes tipos de publicações (livros, jornais, revistas) [21][22][23], com particular incidência na paginação dos anúncios classificados de um jornal (Fig. 3).

Neste caso, uma área pré-definida tem que ser completamente preenchida com anúncios e elementos gráficos de diferentes dimensões e tamanhos, sem que possam ser alteradas as dimensões de cada componente individual.



Fig. 3 - Exemplos de lógica aditiva em páginas de anúncios classificados do "Jornal de Notícias" de 07/10/2009 e de 11/10/2009 – ferramenta: programa SIG@²

Podemos considerar que o corte e a aplicação de peças de cobertura apresenta uma conjugação das duas lógicas, em que o preenchimento de um espaço segue uma lógica aditiva (exemplo, numa superfície coberta por painéis cerâmicos estes têm que ser combinados até preencher toda a superfície em função das regras estéticas e funcionais definidas) e, logo em seguida, uma lógica subtrativa (na otimização do corte de peças completas em parciais para preenchimento dos espaços em que as maiores não cabem).

No caso da lógica aditiva quando comparada a cobertura de uma superfície com a paginação de anúncios, a diferença fundamental reside no facto de que, enquanto nas artes gráficas nenhum elemento pode ser dividido e os ajustes dimensionais são garantidos à custa de pequenas alterações nos espaços horizontais entre anúncios e na possibilidade de troca de posição entre anúncios de vários tamanhos, já no corte e aplicação de peças de cobertura as regras-base são as simétricas, ou seja, o espaçamento entre

² SIG@ - software desenvolvido para o "JORNAL DE NOTÍCIAS" para uso interno nas publicações do Grupo de Media.

peças é fixo, mas é permitido cortar peças e utilizar apenas partes, procurando-se a otimização desses cortes.

Dito de outra forma, enquanto nos demais setores analisados não é comum encontrar as duas lógicas combinadas, o caso objeto do nosso estudo é aquele em que é mais nítido o uso de ambas em complementaridade, o que torna o processo mais complexo e envolvendo a necessidade de uso de duas aplicações distintas e capazes de dialogarem eficazmente entre si. Para a lógica aditiva está já disponível o Revit, no entanto, na ausência de soluções informáticas para a lógica subtrativa desenvolvidas de raiz para a Construção Civil, a solução tem sido a de aproveitar as disponíveis para outros setores de atividade, com as consequentes limitações.

As várias soluções de BIM existentes para o setor da Construção Civil suportam-se maioritariamente em *softwares* de CAD e modelação 3D que são amplamente difundidos (AUTODESK Revit, AUTODESK AUTOCAD, AUTODESK FUSION 360, TurboCAD, a suite CYPE, incluindo soluções OPEN BIM para várias utilizações particulares, entre outros). Estas respondem já a grande parte das atividades de projeto e desenho e estão amplamente difundidas e consolidadas no sector, mas têm limitações na resposta a estas atividades de nicho.

Para tentar compreender melhor o que já existe do ponto de vista de programas de corte de peças, foi efetuada uma pesquisa por aplicações que tentem resolver o problema. Para tal, foram utilizados os termos chave seguintes:

- *cutting optimization programs* (programas de otimização de corte)
- *nesting software* (*software* de aninhamento)
- *construction part cutting* (corte de peças para construção)

Através desta pesquisa, identificaram-se os seguintes programas:

Perfect Cut [12]

Programa capaz de criar planos de corte 2D, com algumas opções para ajustar o plano. Apesar de ser feito para a indústria da vidraria, este programa apresenta muitas funcionalidades interessantes para a Construção Civil, advindas da suíte de programas e extensões associados a este. Inclui-se nelas a capacidade de registar o formato real da peça e a ligação a máquinas de corte, entre outros. Como não existe versão grátis, não foi possível analisar mais profundamente.

CutList Optimizer [30]

Aplicação online que permite criar planos de corte 2D, com algumas opções para ajustar o plano. De todos os resultados pesquisados, esta é das mais fracas, por ser uma ferramenta muito simples, feita para operações de corte de peças pouco complexas.

OptCut Free [31]

Programa grátis que permite criar planos de corte 1D e 2D, com algumas opções para ajustar o plano. Este programa está feito para as indústrias de carpintaria, vidraria e outras, tendo um foco maior nos fabricantes de pequena escala. Contém um leque de funções largo.

Cutlist EVO [32]

Programa de planeamento de corte que permite criar planos de corte 1D, 2D e para rolos de material, com uma função que permite ao programa considerar os restos de um plano de corte no plano seguinte. Aplicação para uso on-line e com um leque de funções reduzido.

CutList Plus fx [33]

Programa de planeamento de corte que permite criar planos de corte 1D e 2D. O programa é apresentado como sendo uma ferramenta simples de utilizar, pelo que não tem um grande leque de parâmetros configuráveis. Neste caso, estão disponíveis várias ferramentas para registar custos de mão de obra, criar mapas de quantidades de materiais e anotar informação acerca de fornecedores.

CutMaster 2D [34]

Programa de planeamento de corte que permite criar planos de corte 2D. Este *software*, apesar de ser feito para as indústrias de marcenaria, vidraria, e outras, pode ser utilizado pela Construção, visto que permite criar planos de corte detalhados dos materiais introduzidos. Apresenta um leque de funções bastante limitado.

Optimalon Software [35]

Aplicação online de planeamento de corte que permite criar planos de corte 2D. Contém um conjunto básico de parâmetros para configuração do corte das peças e, por ser online, há servidores disponibilizados pela empresa que permitem guardar projetos. Estão disponíveis vários níveis de complexidade de corte, que podem ser selecionados, dependendo do tipo de material e do tipo de máquina de corte a utilizar.

Next Nesting Software X [36]

Programa de planeamento de corte que permite criar planos de corte 1D e 2D. De todos os *softwares* investigados, este é dos poucos que permite definir o formato real da peça. Atualmente, esta ferramenta ainda está numa versão BETA, pelo que certas funções ainda não estão terminadas ou sequer incluídas no programa.

Cut Micro [38]

Programa grátis de *open-source* capaz de criar planos de corte 2D, com algumas opções para ajustar o plano. Esta ferramenta é muito simples e pequena. Tem poucas funcionalidades disponíveis na versão base, sendo que está feita para permitir modificações manuais ao código.

Sketchcut [39]

Aplicação para telemóvel e tablet capaz de criar planos de corte 2D. Contém um leque reduzido de parâmetros para configurar o corte das peças, mas, de todas as ferramentas que foram pesquisadas, esta é a única que está disponível para dispositivos móveis.

Optimik [40]

Programa capaz de criar planos de corte 2D, feito para as indústrias da marcenaria, vidraria e corte de metais. Este *software*, apesar de estar bem desenvolvido, não contém muitas funções relacionadas com o setor AEC, estando mais focado nas necessidades específicas de fabricantes de mobília e outros produtos semelhantes.

Maxcut [41]

Programa capaz de criar planos de corte 2D, com algumas opções para ajustar o plano, feito para a indústria da marcenaria. Este *software* não tem muitas funções para configurar o corte, estando mais focado nas questões de gestão de trabalhos e encomendas

AutoPanelSizer [42], CutPlanner [43], AutoNester-T [44] e AutoCompactor [45]

Algoritmos desenvolvidos pelo Fraunhofer Institute para programas de plano de corte. Estes códigos são feitos especificamente para serem implementados por outras empresas nos seus programas de corte, contendo a programação necessária para processar o encaixe de peças parciais dentro das completas.

De referir, que continua presente o problema de estarmos a analisar programas que, além de não serem específicos das necessidades do setor AEC, continuam a desenvolver-se segundo uma lógica de integração deficiente (programa de modelação, seguido de aplicação de *interface*, seguido de *software* de desenho de corte), com as inerentes limitações de eficácia e de qualidade.

2.4. A ABORDAGEM DA ACA

A ACA Engenharia & Construção, empresa com quem o presente projeto foi executado, suporta as suas atividades principais no *software* Revit, que é uma das principais ferramentas no mercado e que, na sua versão nativa, isto é, sem adicionais introduzidos pela Empresa, não tem todas as funções necessárias para este processo. O *software* Revit tem já um embrião da lógica aditiva, pois consegue desenhar o *layout* pretendido para o pavimento, mas, na sua versão base, não fornece informação adicional que permita otimizar cortes de peças parciais nem consegue fazer otimização de custos. Além disso, se os elementos a utilizar não estiverem previstos no conjunto de objetos pré-definidos, a introdução da respetiva informação é muito elementar, consumidora de tempo e passível de erros.

Ciente destas limitações, a Empresa adquiriu uma licença do programa Cutting Optimization Pro (COP), destinada a executar algumas das atividades adicionais necessárias. Este *software* executa a componente em falta da lógica subtrativa e define, por iterações sucessivas, a melhor forma de cortar um conjunto de peças completas nas dimensões que sejam necessárias para a execução do projeto. Como os dois programas não conseguem comunicar eficazmente entre si, houve necessidade de adquirir uma aplicação adicional (DiRootsOne) capaz de fazer a interligação entre eles por intermédio de um ficheiro de Excel, que recebe a informação do Revit e a entrega ao COP.

A Empresa, contudo, tem questões quanto à eficácia da solução usada e procura uma forma de analisar essa eficácia e, se possível, desenvolver as melhorias necessárias.

Para conhecer melhor esta abordagem, efetuou-se uma análise do Revit, do COP e do DiRootsOne com vista a identificar as mais-valias e as limitações de cada um destes programas, para definir as ações a desenvolver a partir daí.

3

PROCESSO ATUAL - DESCRIÇÃO, APLICAÇÃO E DISCUSSÃO

3.1. DESCRIÇÃO

3.1.1 PONTO DE PARTIDA

O projeto teve início com os seguintes pressupostos:

1. Nas suas atividades de preparação de obra, a Empresa opera com o *software* Autodesk Revit;
2. Perante as limitações do Revit nos processos de planeamento de corte de elementos planos, para cobertura de superfícies, a Empresa licenciou uma aplicação (COP) que, a partir da informação recebida do Revit, desenvolve o planeamento do corte de peças completas em peças parciais, otimizando o processo por forma a garantir a encomenda do mínimo de peças completas possível (lógica subtrativa – Fig. 4);

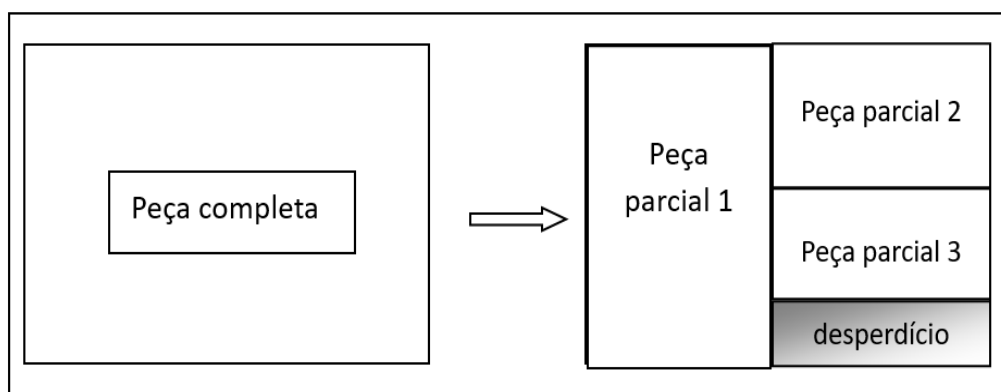


Fig. 4 - Exemplo de otimização do corte de uma peça completa (lógica subtrativa), a obter do COP

3. Os dois programas não comunicam diretamente, pelo que há ainda, de permeio, uma terceira aplicação (DiRootsOne) que recebe a informação do Revit e gera uma tabela de Excel que serve de base do trabalho do COP. Na realidade, o Revit tem capacidade para exportar um ficheiro CSV que pode ser importado para Excel, mas a Empresa não está satisfeita com a formatação dos ficheiros gerados nativamente, visto que obrigam a trabalhos extra com a limpeza do ficheiro para obter um resultado utilizável;

4. Acresce que, mesmo assim, o processo de planeamento de corte não é imediato, havendo ainda a necessidade de um conjunto de ações humanas, que são complexas, morosas e passíveis de erro.
5. Por último, as ferramentas do Revit não contêm todos os campos de informação necessários para efetuar com rigor o planeamento do corte e da montagem dos elementos, pelo que é necessário usar modelos desenvolvidos externamente, contendo esses campos, para alimentar o Revit. O desenvolvimento e uso destes modelos é, também ele, moroso e passível de erros.

3.1.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL

O processo atual para efetuar a modelação, extrair a informação e determinar o plano de corte a ser empregue pela Empresa (ilustrado na Fig. 5) é o seguinte:

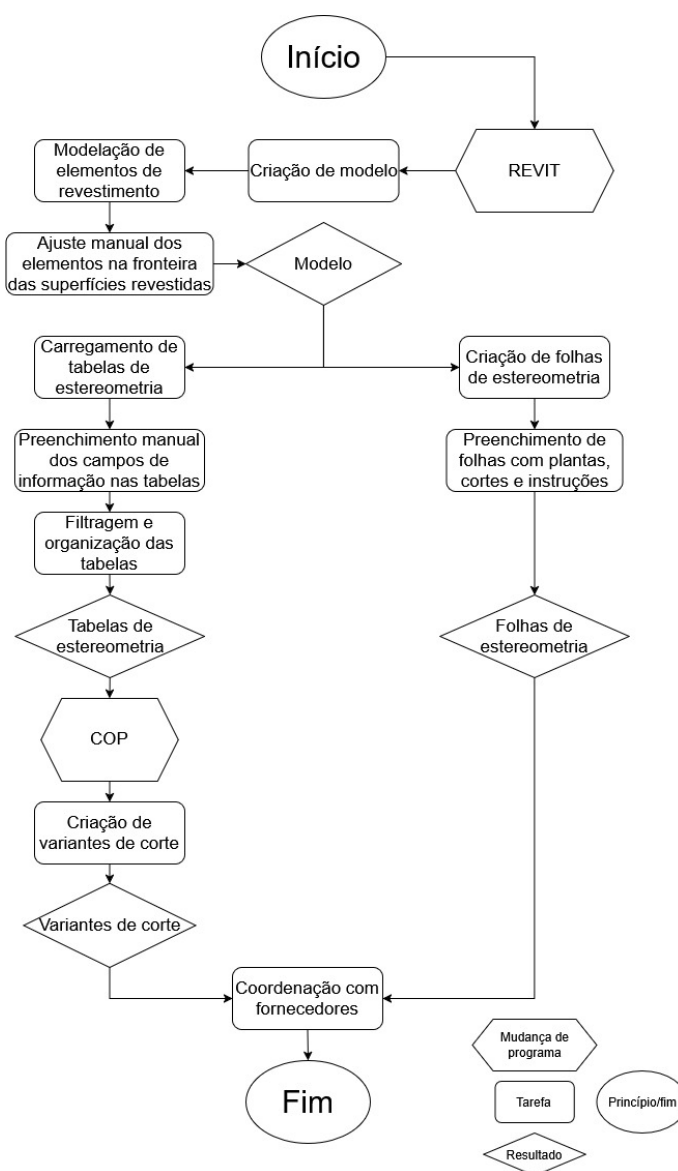


Fig. 5 - Esquema do procedimento atual (legenda no canto inferior direito)

1. Primeiro, é estudado o modelo do projeto que lhes foi enviado, para determinar aonde é que vão ser implantados os ladrilhos, tábuas ou outros elementos de revestimento a serem cortados;
2. Depois, no Revit, é efetuada a modelação dos elementos usando as famílias criadas pela Empresa, que contêm os campos de informação necessários para o resto do processo. Esta é a parte mais demorada do processo, visto que todos os elementos com cortes mais complexos têm de ser modelados manualmente para encaixar corretamente nas zonas de fronteira;
3. De seguida, são criadas as tabelas e as folhas de estereometria (descritas em 3.2.1 e 3.2.2) necessárias para extrair a informação sobre a geometria das peças e preparar as instruções para a sua montagem em obra, sendo esta informação processada manualmente e a tabela exportada para Excel, via DiRootsOne;
4. Posteriormente, a informação nas tabelas de Excel é importada para o COP e são efetuadas algumas simulações para otimizar o plano de corte;
5. Por último, o plano de corte final e a folha são enviados para o estaleiro.

Este processo implica um conjunto de ações manuais a ter em conta, nomeadamente o ajuste da fronteira das superfícies revestidas e o preenchimento de toda a informação na tabela. Estes processos consomem bastante tempo e são suscetíveis de introdução de erros.

3.2. DESCRIÇÃO DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO (REVIT)

Para as tarefas de modelação deste trabalho foi utilizado o Revit, um programa de modelação que contém todas as ferramentas necessárias para criar o modelo completo de um projeto. Esta aplicação é usada neste trabalho porque é a utilizada pela Empresa.

3.2.1. TABELAS DE ESTEREOMETRIA

As tabelas de estereometria são tabelas que contabilizam o(s) elemento(s) escolhido(s) e que enunciam as propriedades do(s) mesmo(s). São utilizadas em conjunto com as folhas de estereometria (definidas a seguir) para planear a instalação das peças de revestimento e como repositório de informação sobre a geometria de cada peça para o plano de corte.

Neste caso, as tabelas são feitas para registar a informação geométrica de uma peça (ou melhor, extraem a geometria do quadrado/retângulo que contém cada peça) (Fig. 6) e contêm campos de informação adicionais onde se pode registar:

- A sua localização (edifício, divisão, piso e paramento, se a peça for aplicada numa parede);
- Comentários acerca da peça (por exemplo, indicar se uma peça tem de ser cortada num formato fora do normal);
- Um indicador que ajuda a dividir as peças em grupos com características geométricas semelhantes.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
n° da peça	Quant. (un)	Dimensões Peças a (mm)	b (mm)	c (mm)	Ref. Acabamento	Comentários	Identificação do Posicionamento	Topos Acabado	Tipo Acab	(descri ção)	ACA_P roj-Zon	ACA_Proj-Piso	ACA_P roj-Alça	ACA_ZonalModel	Family	ACA_Fam_Material
P1	55	600	600	9,5	P1	<varia>	MO1 - <varia> -P0 -N	0	1	P1	MO1	P0	NA	<varia>	<varia>	Grânito vermelho
P2	1	600	396	9,5	P1	Peça especial	MO1 - BBL -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	BBL	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto1_angular_sup	Grânito vermelho
P3	1	276	588	9,5	P1		MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	Grânito vermelho
P4	1	276	600	9,5	P1		MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	Grânito vermelho
P5	1	44	282	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto1	Grânito vermelho
P6	1	359	187	9,5	P1	Peça especial	MO1 - BBL -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	BBL	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto1_angular_sup	Grânito vermelho
P7	1	310	504	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_retangular_inferior	Grânito vermelho
P8	1	310	600	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_retangular_inferior	Grânito vermelho
P9	1	600	282	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto	Grânito vermelho
P10	1	576	600	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto_e_retangular	Grânito vermelho
P11	1	334	600	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto2	Grânito vermelho
P12	1	311	588	9,5	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto2	Grânito vermelho
P13	1	276	282	9,5	P1		MO1 - WC -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	Grânito vermelho
P14	3	186	186	9,5	P1	Peça especial	MO1 - BBL -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	BBL	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto1_exato_inferior	Grânito vermelho
P15	1	46	46	9,5	P1	Peça especial	MO1 - BBL -P0 -NA	0	1	P1	MO1	P0	NA	BBL	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard_Corte_Canto1_exato_inferior	Grânito vermelho
V1	64	450	450	8,0	P1	<varia>	MO1 - WC -P0 -varia	0	1	<varia>	MO1	P0	<varia>	WC	<varia>	cerâmico vidro
V2	5	450	404	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -1	0	1	P1	MO1	P0	1	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V3	5	450	320	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -6	0	1	P1	MO1	P0	6	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V4	5	450	273	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -2	0	1	P1	MO1	P0	2	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V5	4	450	259	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -4	0	1	P1	MO1	P0	4	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V6	5	450	261	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -3	0	1	P1	MO1	P0	3	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V7	4	450	246	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -2	0	1	P1	MO1	P0	2	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V8	4	450	186	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -5	0	1	P1	MO1	P0	5	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V9	5	450	174	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -1	0	1	P1	MO1	P0	1	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V10	1	450	138	8,0	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -4	0	1	P0	MO1	P0	4	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1_Corte_retangular_inferior	cerâmico vidro
V11	4	450	113	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -4	0	1	P1	MO1	P0	4	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V12	1	450	87	8,0	P1	Peça especial	MO1 - WC -P0 -5	0	1	P0	MO1	P0	5	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1_Corte_retangular_inferior	cerâmico vidro
V13	4	450	74	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -5	0	1	P1	MO1	P0	5	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V14	4	450	47	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -5	0	1	P1	MO1	P0	5	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V15	5	450	26	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -2	0	1	P1	MO1	P0	2	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V16	21	218	450	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -<varia>	0	1	P1	MO1	P0	<varia>	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V17	5	208	450	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -<varia>	0	1	P1	MO1	P0	<varia>	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V18	1	218	404	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -1	0	1	P1	MO1	P0	1	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V19	1	218	320	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -6	0	1	P1	MO1	P0	6	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V20	1	218	273	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -2	0	1	P1	MO1	P0	2	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V21	1	218	261	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -3	0	1	P1	MO1	P0	3	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V22	1	218	174	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -1	0	1	P1	MO1	P0	1	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V23	1	218	138	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -4	0	1	P1	MO1	P0	4	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V24	1	218	87	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -5	0	1	P1	MO1	P0	5	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro
V25	1	218	26	8,0	P1		MO1 - WC -P0 -2	0	1	P1	MO1	P0	2	WC	ACA_SYSTEMpanel_Panel standard1	cerâmico vidro

Fig. 6 - Exemplo de uma tabela de estereometria, gerado a partir do projeto de moradia base do estudo

Também é possível criar campos de informação, caso não existam. Um exemplo neste trabalho foi a criação do campo “Área_ladrilho”.

O Revit não é capaz de registrar a área real de uma peça, sendo que só registra a área do quadrado/retângulo que a contém. Como tal, foi preciso criar o parâmetro “Área_ladrilho” (nas opções de configuração do projeto, em Revit), onde, através de um programa desenvolvido em Dynamo (apresentado em 3.2.3.), foram anotadas as áreas reais das peças.

O *template* da tabela pode ser guardado num ficheiro próprio, separado do projeto, podendo ser depois descarregado para outro projeto. Ao descarregá-lo, todas as peças são automaticamente registadas. As medidas são extraídas sem ser necessária a intervenção do utilizador, devido ao facto de que foram utilizados os modelos de peças criados pela Empresa. Os campos de informação sobre o local e os comentários têm de ser preenchidos manualmente, sendo que se pode preencher a informação de várias peças simultaneamente.

3.2.2. FOLHAS DE ESTEREOMETRIA

As folhas de estereometria são folhas (vistas especiais que permitem associar outras vistas dentro destas, destinadas a serem impressas e entregues a quem for necessário [24]) que permitem gerar esquemas para a construção da obra a partir de plantas e cortes gerados no modelo. Estes esquemas, juntamente com as tabelas de estereometria e os planos de corte, permitem gerar um plano completo da instalação das peças. A informação contida nas folhas de estereometria é essencialmente geométrica, incluindo as dimensões das peças base, as dimensões das juntas, as folgas entre as peças e outros elementos construtivos e as dimensões dos cortes e entalhes das peças cortadas.

Para montar uma folha de estereometria, como a apresentada na Fig. 7, é preciso gerar primeiro os cortes e as plantas do modelo que vão ser implementados.

Seguidamente, adicionam-se as marcas das peças com base nas suas dimensões, para que os operários as possam distinguir. Para isto usa-se a função de “Identificador” do Revit, que permite associar identificadores (anotações para identificar elementos num desenho [25]) às respetivas peças. Neste caso usa-se o identificador com base na marca atribuída ao objeto, que, por ser um parâmetro adicionado ao modelo, necessita de um identificador próprio, também importado para o modelo.

Por último, faz-se uma limpeza à vista para esconder elementos desnecessários e alterar os gráficos dos objetos, de forma a que as peças e as medidas sejam o foco principal das imagens. Para isto, usa-se a função “ocultar elemento na vista”, as opções de sobrepor gráficos na vista e as definições de gráficos dos materiais. Através destas funções, as cores e texturas dos elementos que não são importantes para a folha são abatidas e alteradas, de forma a ser distintas das cores do que interessa (Fig. 9).

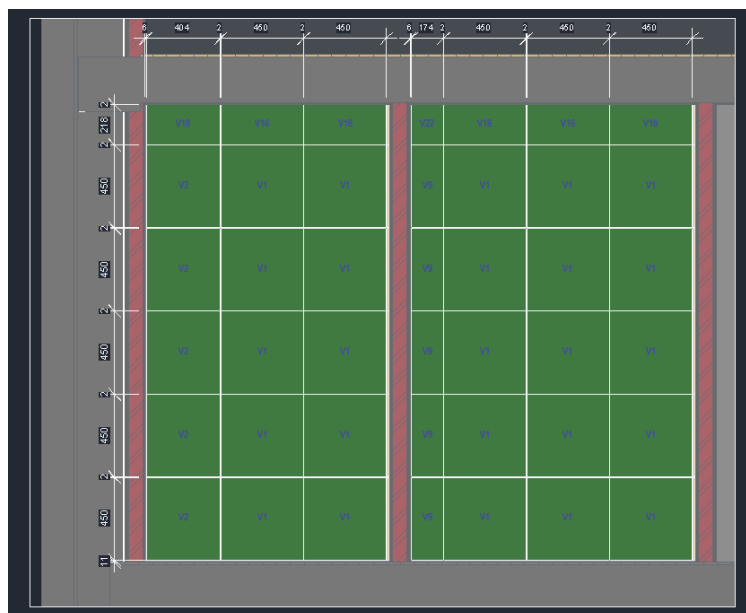


Fig. 9 - Corte anotado com todas as medidas de painéis, juntas, espaços entre painéis e outros elementos construtivos, marcas dos painéis e vista limpa

3.2.3. DYNAMO

O Dynamo é uma ferramenta de programação que faz parte do Revit, podendo ser aberta diretamente a partir do programa.

A partir do Dynamo, um utilizador pode programar várias funções que não estão presentes normalmente no Revit ou alterar/automatizar certas funções que já existem, sendo essencialmente usado para ultrapassar as limitações do Revit. Alguns exemplos de funções são:

- Extrair informação do modelo;
- Modelar automaticamente elementos construtivos;
- Gerar elementos e aplicá-los no modelo;
- Alterar, criar e preencher campos de informação no modelo.

A forma principal de programação no Dynamo é a programação por blocos. Este tipo de programação envolve o uso de blocos de código que executam certas operações, tipo adição ou filtragem de dados. Acresce que também está disponível um bloco que permite escrever código em Python (Fig. 10).

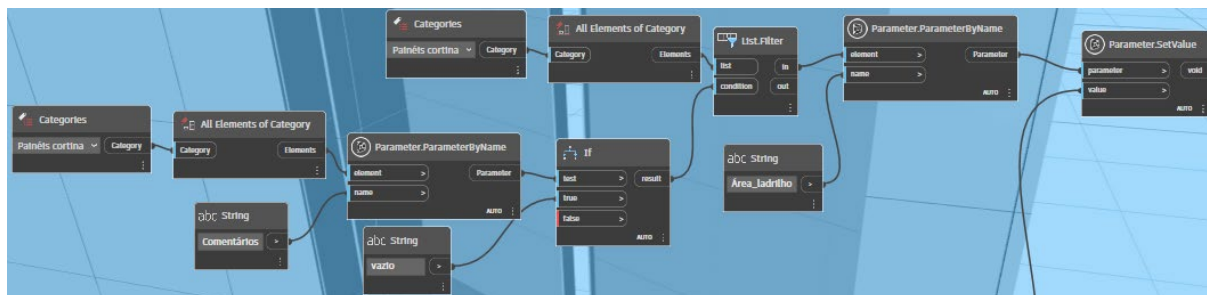


Fig. 10 - Exemplo de programação por blocos

3.3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE CORTE (COP)

O COP é um *software* de corte que permite calcular o *layout* ótimo para cortes de peças 2D (ladrilhos, chapas metálicas, vidro, entre outros) e 1D (barras de metal, toros de madeira, comprimentos de tubo, entre outros).

O programa divide-se em 4 painéis (dois para introdução de dados e dois para visualização de resultados) e em 6 janelas de configuração (três para configurar a simulação e três para configurar os materiais das peças e outros componentes).

A descrição detalhada de cada um destes componentes está incluída no Anexo 1.

3.4. DESCRIÇÃO DA OBRA/PROJETO

Para a execução das análises necessárias ao desenvolvimento do projeto definiram-se 5 casos de estudo, numeradas de 0 a 4. Estes casos de estudo foram trabalhados sobre os projetos da moradia cujas plantas se apresentam nas figuras 11 e 12.

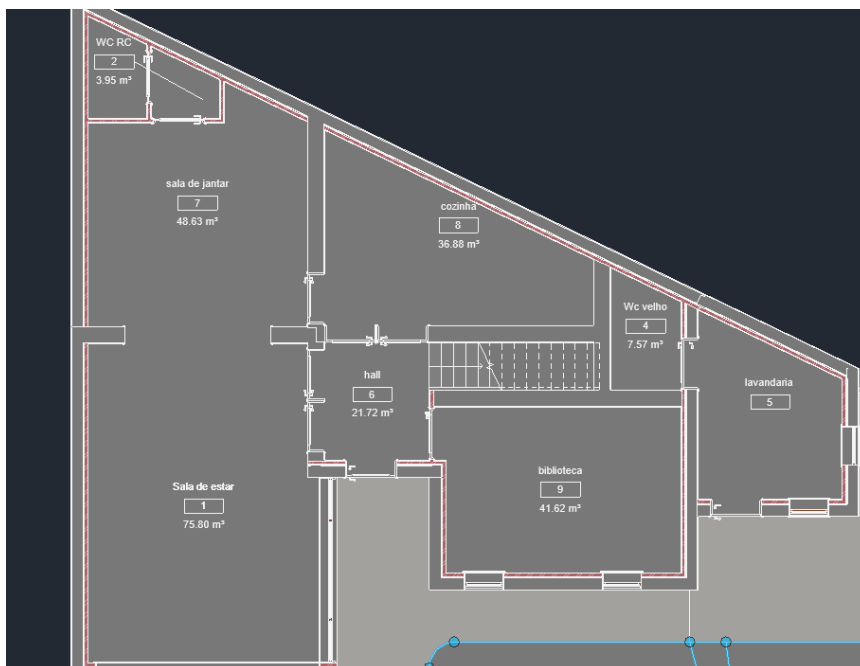


Fig. 11 - Planta do rés-do-chão

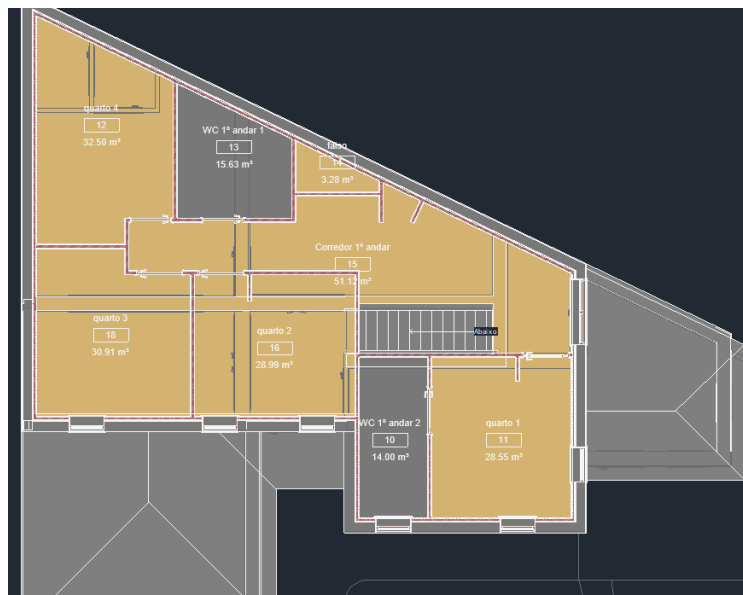


Fig. 12 - Planta do 1º andar

Para aprender a utilizar as ferramentas de modelação, foi primeiro criado um caso de estudo destinado à aprendizagem e ao treino do processo de modelação, utilizando a divisão da casa de banho do rés-do-chão (caso de estudo 0) (Fig. 13). A partir daqui foi adquirida experiência suficiente para gerar os modelos dos outros casos de estudo com uma velocidade mais próxima da de um modelador com experiência. Também foi possível concluir que, para este trabalho, não há diferenças entre elementos de parede e elementos de piso, sendo que os casos de estudo seguintes focaram-se em divisões com uma única superfície revestida.

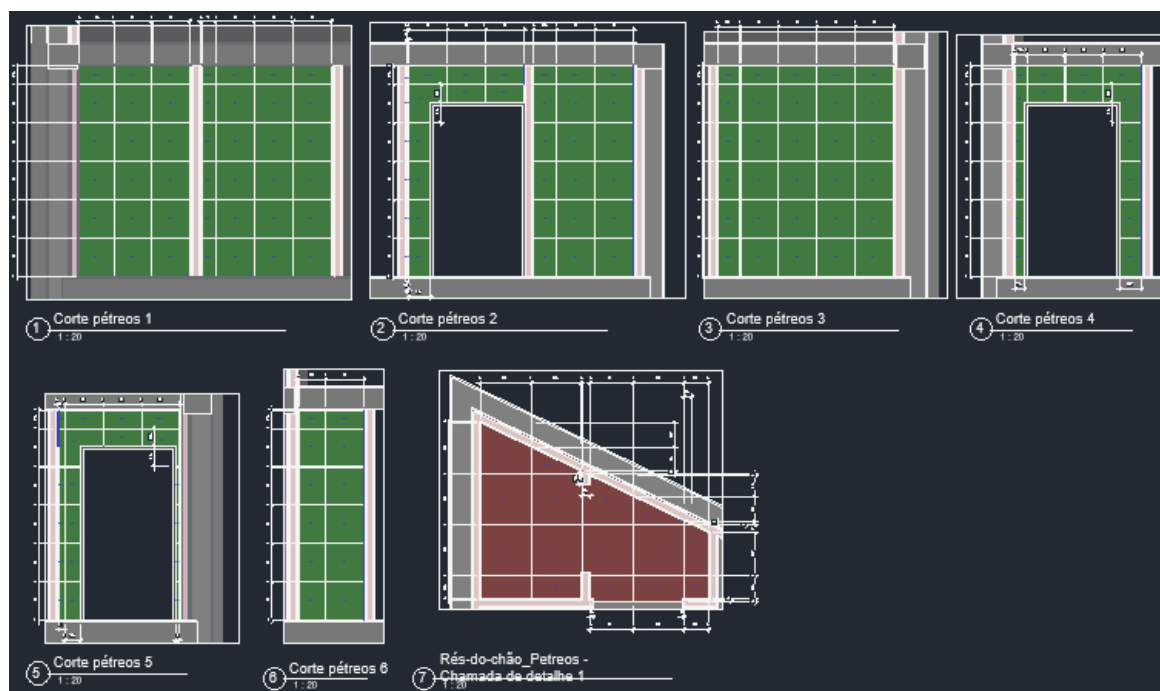


Fig. 13 - Recorte da folha de estereometria dos ladrilhos do caso de estudo 0

Para efeitos da análise estabeleceu-se que o trabalho incidiria sobre o conjunto de 2 divisões de características muito distintas:

- A biblioteca, com um pavimento em granito vermelho;
- Um dos quartos no 1º andar, com um pavimento em tabuado de madeira e forma irregular.

Sobre estas divisões definiram-se quatro casos de estudo:

- Caso de estudo 1 – Biblioteca, ladrilhos de 600 x 600 mm, alinhados com as paredes (Fig. 14);

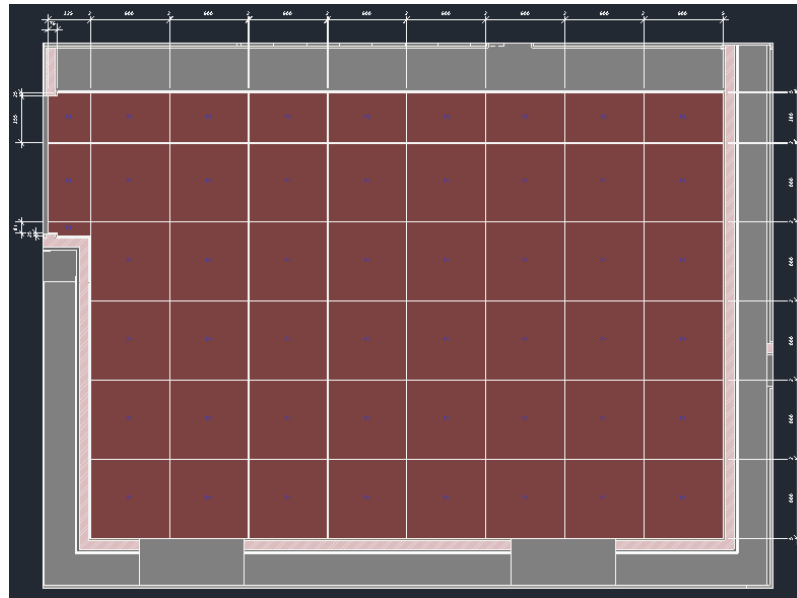


Fig. 14 - Ladrilhos do caso de estudo 1

- Caso de estudo 2 – Biblioteca, com ladrilhos de 600 x 600 mm, em cruz (Fig. 15);

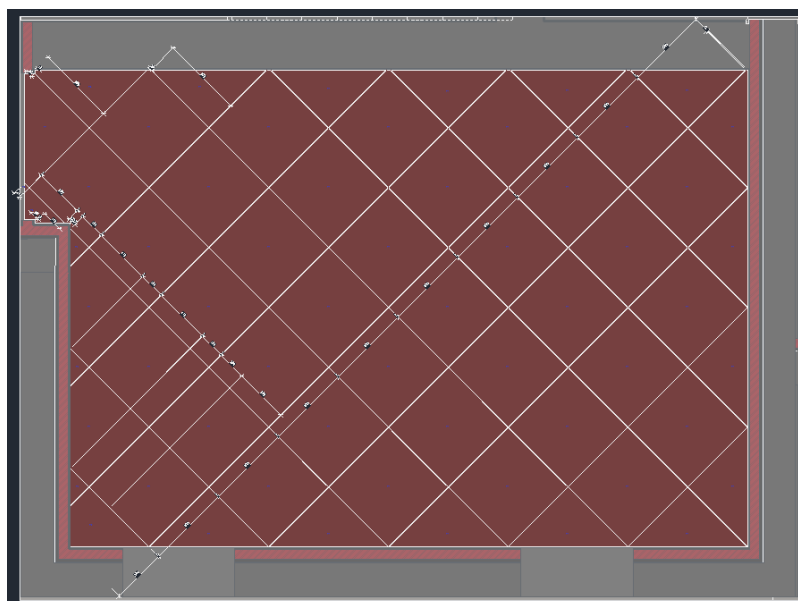


Fig. 15 - Ladrilhos do caso de estudo 2

- Caso de estudo 3 – Biblioteca, com ladrilhos alinhados com as paredes e metade das dimensões (300 x 300 mm) (Fig. 16);

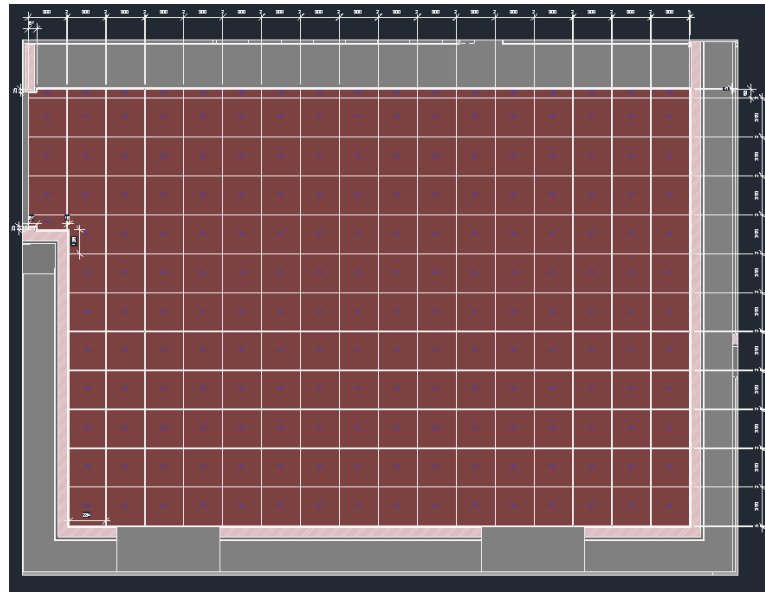


Fig. 16 - Ladrilhos do caso de estudo 3

- Caso de estudo 4 – Quarto de forma irregular (trapezoidal), com tábuas de 500 x 100 mm, alinhadas com as paredes ortogonais (Fig. 17);

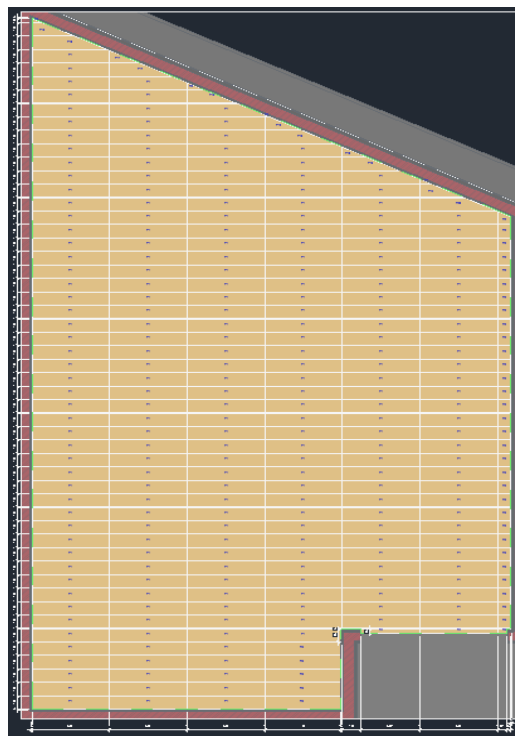


Fig. 17 - Tábuas do caso de estudo 4

3.5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO ATUAL

3.5.1. MODELAÇÃO DOS ELEMENTOS EM REVIT

Para efetuar a modelação, é preciso seleccionar primeiro os elementos construtivos do Revit que vão ser utilizados na geração dos painéis. Para obter os resultados corretos, usa-se a ferramenta de “parede cortina” (“tipo de parede que não suporta cargas da estrutura do edifício [26]) (Fig. 18) para os ladrilhos em paredes e a de “vidraça inclinada” (dentro das opções para telhados [27]) (Fig. 19) para os ladrilhos em pisos.

Depois disto, é preciso escolher os modelos de ladrilhos corretos a utilizar. Esta escolha será detalhada no subcapítulo seguinte.



Fig. 18 - Menu contendo a ferramenta de paredes de cortina

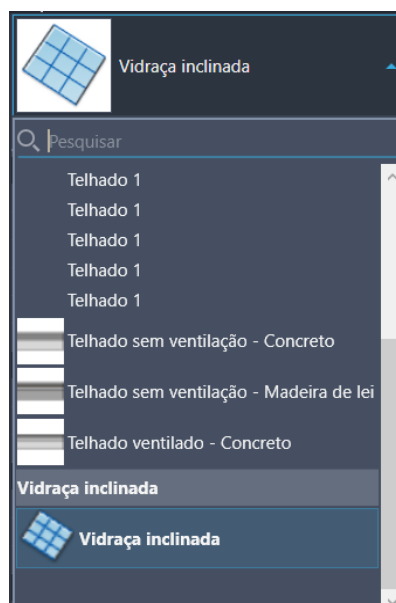


Fig. 19 - Menu contendo a ferramenta de vidraça inclinada

A partir daqui os elementos são modelados conforme o esquema ditado nas especificações do projeto (alinhados, em cruz, misto, etc.). Em termos de esquema e de perímetro definido, tudo o que envolve painéis em cruz é sempre mais complicado, devido à complexidade de definir manualmente a fronteira do elemento, painel a painel (Fig. 20).

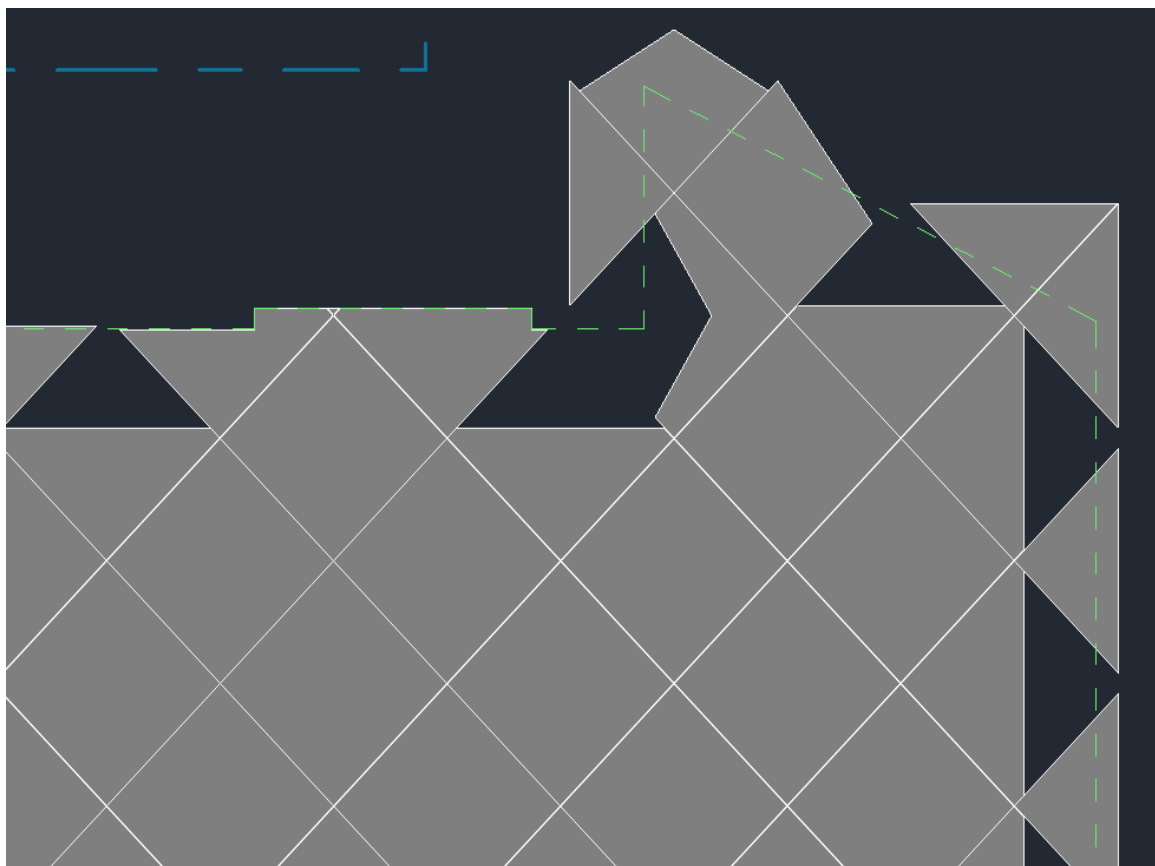


Fig. 20 - Exemplo de uma das secções de fronteira mais complexas, mostrando a necessidade de ajuste manual no processo.

No processo de trabalho atual os painéis fornecidos pela Empresa não têm a capacidade para se moldar automaticamente à fronteira do elemento. Como tal, é preciso aplicar variantes do painel base contendo parâmetros extra associados aos vértices da peça para modelar o corte. Nos painéis em cruz é mais complicado visualizar mentalmente em que direção vai ser mexido o eixo do painel quando se altera o valor de uma das suas coordenadas, devido ao facto de, no Revit, um painel angular ser criado ao rodar o sistema de eixos no qual é inserido em vez do painel em si. Esta situação leva a que o processo de moldar os painéis fronteira manualmente seja muito dependente de tentativa e erro.

Junta-se a isto, também, o facto de que é necessário criar variantes para cada tipo de corte da peça possível. Esta atividade representa uma grande parte do tempo gasto na modelação, quer em cruz, quer alinhado.

Para além disto, há uma segunda questão nos painéis em cruz, relacionada com a impossibilidade de alinhar a fronteira do elemento com a fronteira real. Nos painéis alinhados isto ainda é maioritariamente possível, visto que os painéis conseguem ajustar-se com cortes retangulares, mas em painéis em cruz, o sistema não é capaz de aceitar cortes angulares, mesmo que se tente moldar a peça primeiro e depois

alinhar a fronteira. Isto obriga à extensão da fronteira ao ponto de criar painéis que não deviam existir no bordo exterior do elemento (Fig. 21).

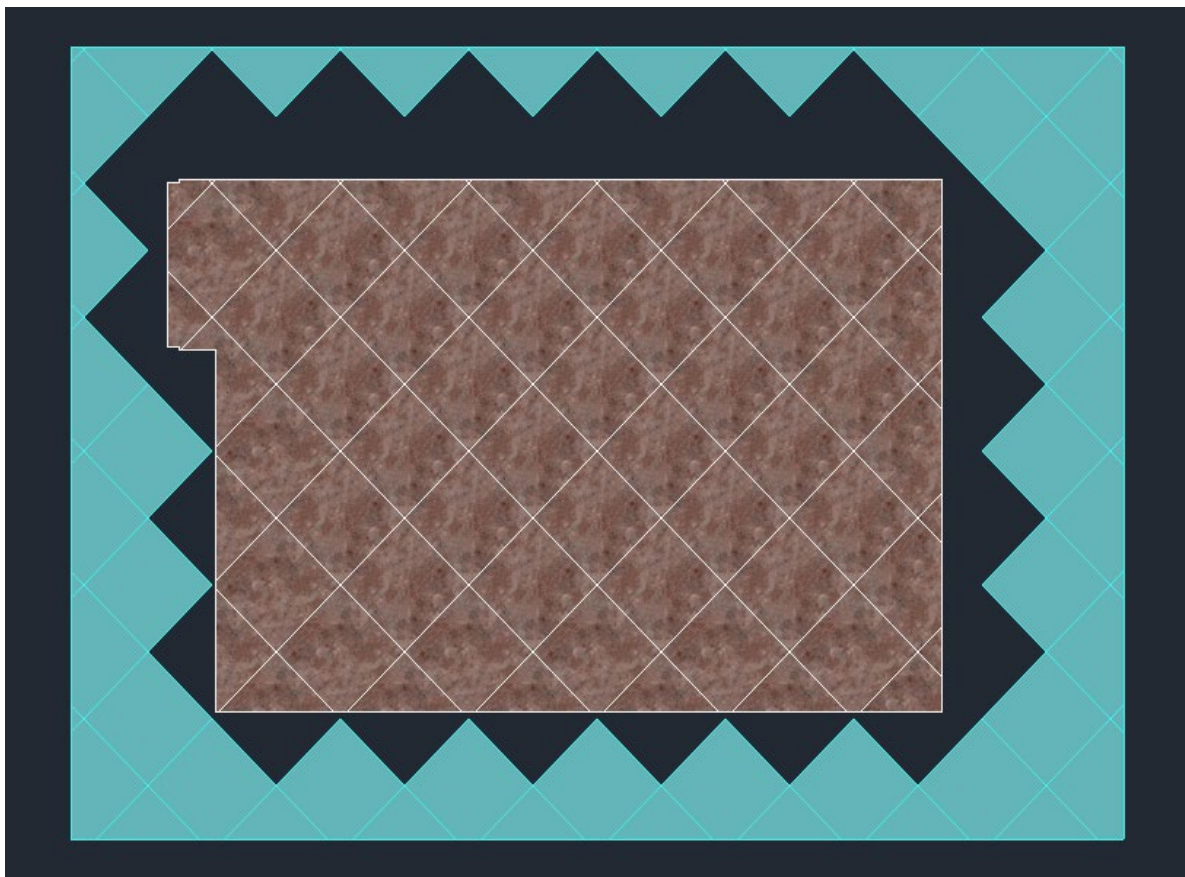


Fig. 21 - Exemplo de fronteira de painéis em cruz com vários elementos que não deveriam existir, resultantes do alinhamento das peças e identificados a azul (cor mais clara, se a preto e branco)

3.5.2. LIMITAÇÕES DA EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DO MODELO NA SUA FORMA ATUAL

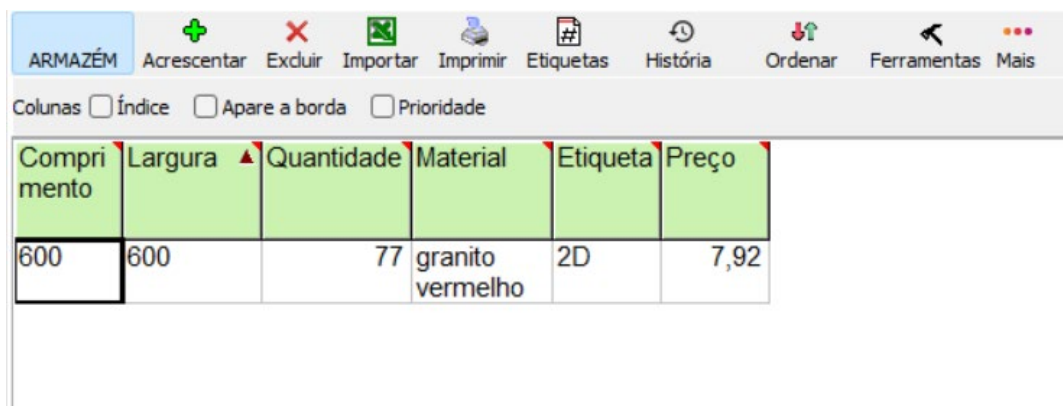
As tabelas de estereometria não anotam as dimensões reais das peças parciais. Estas registam apenas as dimensões do quadrado/retângulo que as contém.

Pesquisando pelo Revit e pelas suas funções, foi feita uma tentativa de adicionar uma coluna com a informação da área real. No entanto, não existe nas ferramentas base do programa algo que meça uma área diretamente, sendo que o mais próximo seria calcular a área com base nas medidas do quadrado/retângulo que contém a peça, o que daria um resultado incorreto.

3.5.3. CRIAÇÃO DE FERRAMENTA EM DYNAMO PARA MELHORAR A ANÁLISE

Para resolver o problema identificado em 3.5.2. e obter uma medida da área mais próxima da realidade, programou-se em Dynamo uma função capaz de extrair a área real das peças e registar este valor dentro de um parâmetro criado especificamente para tal. Os módulos desta função estão apresentados na Fig. 22 e detalhados nas figuras seguintes.

Separadamente do que foi importado, introduzem-se os parâmetros das peças completas no painel de introdução de dados para peças “em armazém”, tendo o cuidado de anotar no campo de “quantidade” (correspondente à quantidade de peças disponíveis), um valor correspondente ao total de peças parciais contadas pelo Revit (Fig. 27). Embora isto corresponda a um excesso de peças, esta informação é importante para garantir que o programa tem peças completas suficientes para efetuar o plano sem problemas e para ajudar nas comparações de quantidades de peças completas a encomendar.



Comprimento	Largura	Quantidade	Material	Etiqueta	Preço
600	600	77	granito vermelho	2D	7,92

Fig. 27 - Introdução de dados no painel de peças completas

Uma vez definidos todos os dados sobre as peças, procede-se ao ajuste das opções de corte conforme as variantes a estudar e conforme as tentativas de otimizar o plano. De cada simulação são extraídos dois PDFs, um que contém o plano de corte gerado, e outro que contém tabelas com as estatísticas das simulações.

Por último, tendo as simulações feitas e guardadas em PDF, efetua-se a comparação dos resultados, analisando os efeitos das variações e determinando qual dos resultados é melhor.

Para este trabalho, a ordem de prioridade dos parâmetros dos resultados, de maior a menor, é:

- A percentagem da área utilizada;
- O número de folhas (peças completas) utilizadas;
- O preço;
- As áreas de resíduos recuperados e descartados;
- O comprimento de corte;
- O tempo de corrida da simulação.

3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO SOBRE O PROCESSO ATUAL

3.6.1. RESULTADOS E CONCLUSÕES SOBRE AS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

3.6.1.1. Resultados do processo de modelação

Começando pelos resultados do processo de modelação, segue-se uma análise do tempo gasto na mesma.

Conforme a complexidade/tamanho do espaço a modelar e a disponibilidade, ou não, das famílias (grupo de elementos associados uns aos outros que são regidos por um conjunto de parâmetros [28]) de ladrilhos necessárias, o tempo gasto no processo pode variar bastante.

Pelo facto de ser preciso modelar as fronteiras dos elementos manualmente, as mais complexas e/ou maiores levam à necessidade de gastar mais tempo com mais ladrilhos e com contornos mais complexos.

Se não estiverem disponíveis as famílias necessárias para modelar essas fronteiras, é preciso gastar ainda mais tempo para as criar.

A modelação da casa de banho (Fig. 28), de estrutura complexa e com mais do que uma superfície revestida, serviu de aprendizagem do processo de modelação dos ladrilhos e, por corresponder à aprendizagem inicial, não foi objeto de cronometragem. Serviu, também, para treinar a criação de variantes de corte.

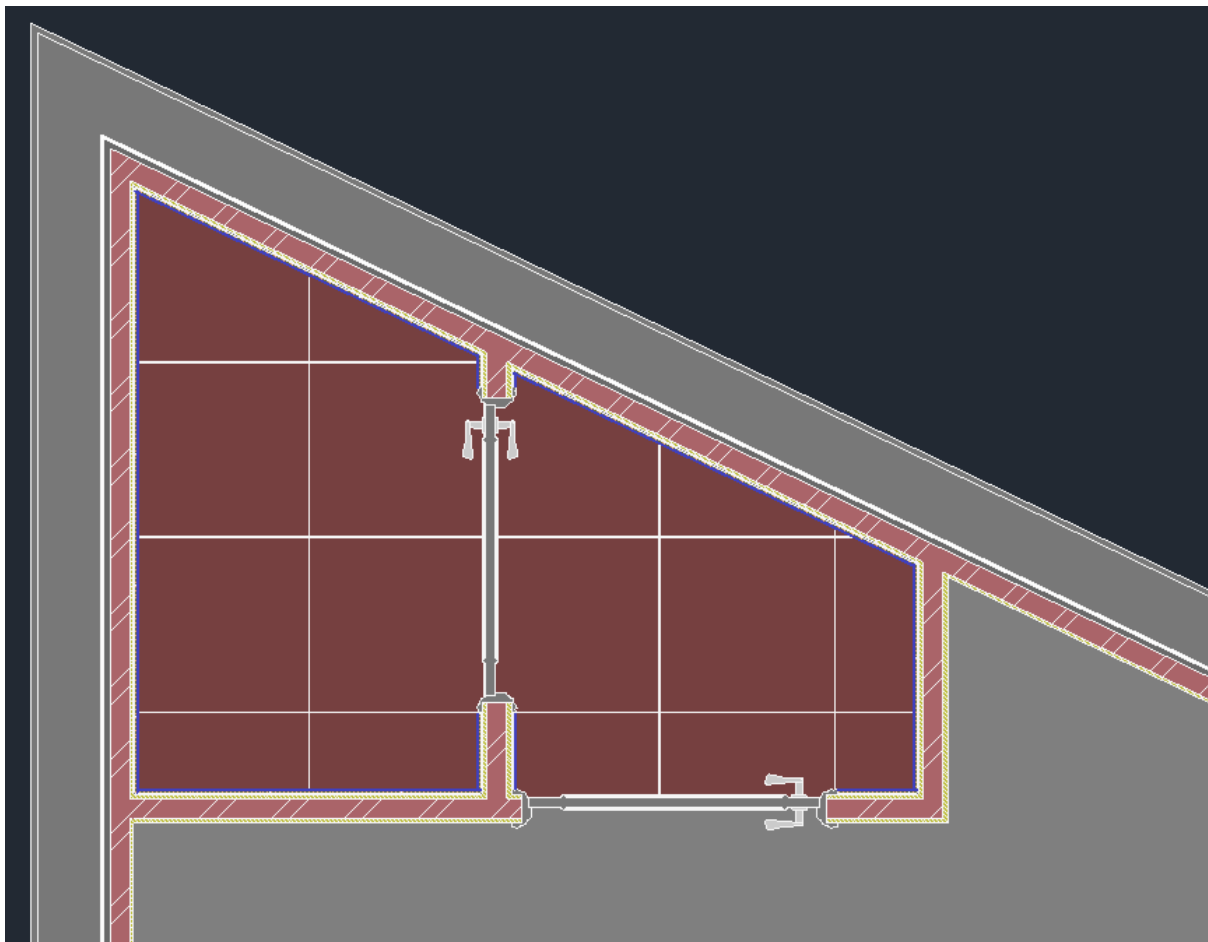


Fig. 28 - Vista do piso da casa de banho

Depois, e para a análise propriamente dita, efetuou-se a modelação dos dois espaços diferentes já referidos:

- A biblioteca;
- Um dos quartos do 1º andar.

No que refere à modelação da biblioteca foram trabalhados três casos de estudo de alinhamento de peças (ortogonais grandes, em cruz e ortogonais pequenos). O quarto teve uma variante, cujo objetivo era experimentar outro material para o piso, usar uma divisão com uma planta mais complexa que a biblioteca e obter mais dados sobre os impactos nos resultados ao alterar as dimensões das peças.

Tabela 1 - Tempo gasto nas modelações

	Caso de estudo 1	Caso de estudo 2	Caso de estudo 3	Caso de estudo 4
	Biblioteca - Ladrilhos ortogonais	Biblioteca - Ladrilhos em cruz	Biblioteca - Ladrilhos ortogonais, tamanho alternativo	Quarto - Tábuas ortogonais
Tempo	1h30min	6h	40min	1h45min

Como se pode ver na tabela 1, nos casos de estudo onde o alinhamento das peças é ortogonal, a modelação da biblioteca demorou hora e meia e o quarto demorou uma hora e 45 minutos. É de notar que, por ser o alinhamento mais simples e devido ao facto de quase todas as famílias necessárias já estarem prontas, a diferença de tempo é pequena e relacionada apenas com as diferenças de área e complexidade do espaço a modelar.

No caso das peças em cruz, a modelação foi muito mais morosa, tendo demorado 6 horas. Aqui já são visíveis os efeitos das dificuldades acrescidas de modelar em cruz. O tempo adicional da biblioteca deve-se exclusivamente à complicação de acertar as coordenadas dos pontos das peças especiais, o que significa que, se fosse necessário criar mais variantes de corte, o resultado cronometrado poderia ser ainda pior. Comparando este caso de estudo com o do quarto, que tem uma fronteira mais complexa que o da biblioteca, mas não demorou sequer um terço do tempo, percebemos que as peças em cruz tornam a modelação muito mais complicada.

No caso de estudo 3, com peças com metade das dimensões do caso de estudo 1, o tempo registado na modelação foi de aproximadamente 40 minutos. Comparando este tempo com a hora e meia gastas no caso de estudo 1, regista-se uma redução de cerca de metade do tempo gasto.

3.6.1.2. Conclusões sobre o Revit

As ferramentas de modelação do Revit são uma parte vital do processo que leva à geração da informação para o programa de corte. Através delas pode-se construir modelos que recriam fielmente a realidade e que podem ser usados para planear a montagem dos vários sistemas e componentes de um edifício e extrair informação sobre esses mesmos sistemas e componentes para preparar outros documentos importantes para a obra.

Alguns dos pontos fortes destas ferramentas são:

- **Software muito completo:** O Revit é um programa com vários anos de desenvolvimento, pelo que, ao longo do tempo foram adicionadas toda uma série de funções. Atualmente é um dos programas mais completos do mercado, apenas ficando em falta ferramentas para atividades de nicho;
- **Processo de modelagem simples:** As ferramentas de modelação base do Revit são fáceis de aprender, permitindo que alguém novo ao programa comece rapidamente a produzir modelos de qualidade. Acresce também que quase todas as ferramentas têm uma descrição e um pequeno tutorial em vídeo disponível dentro do Revit para facilitar ainda mais o processo;
- **Riqueza de informação gerada:** O Revit permite gerar modelos de projetos de grande escala com bastante detalhe acerca das suas soluções construtivas, sistemas, etc. Como tal, é possível gerar grandes quantidades de informação acerca de todos os aspetos do edifício que, para além da edificação, podem ser úteis para a manutenção, reabilitação e demolição do mesmo;

- **Possibilidade de criar entregáveis para as equipas de obra:** Como já foi demonstrado anteriormente, através do Revit é possível gerar entregáveis para as equipas de obra contendo instruções, cuidados especiais, representações visuais, entre outros. Estas representações, por serem feitas por computador e impressas, vão ter menos erros e ser mais fáceis de criar ou de reproduzir do que se fossem feitas à mão;
- **Modelação expedita que permite efetuar certos projetos que não seriam viáveis se fossem feitos com processos tradicionais:** Um dos recursos mais importantes na construção é o tempo gasto tanto em projeto como em obra. Certos projetos, devido ao seu tamanho e/ou complexidade ou devido ao tamanho e/ou falta de experiência da equipa projetista, não podem ser efetuados por demorarem demasiado tempo. Com o Revit, que facilita o processo de modelação e permite gerar quase todos os entregáveis que são necessários para a obra, certos projetos passam a ser possíveis de executar;
- **Possibilidade de criar funções adicionais com a ferramenta de programação incluída no Revit:** O Revit, apesar de ser uma das ferramentas de modelação mais avançadas do mercado, não é perfeita. Há sempre funções que podem estar em falta ou certas incapacidades do sistema que têm de ser ultrapassadas. Para isto, a AUTODESK incluiu dentro do Revit uma ferramenta de programação (Dynamo) para que os utilizadores possam ultrapassar estas dificuldades.

No entanto, existem algumas limitações no *software*, que identificamos a seguir:

- **Configuração dos elementos no Revit** – Apesar de o Revit ter um formato de painel cortina base que se molda automaticamente a qualquer perímetro que se aplique na parede cortina ou vidraça inclinada, este modelo é inútil do ponto de vista de aquisição de informação. É verdade que os modelos base podem fornecer alguma informação acerca das dimensões geométricas de uma dada peça, mas o sistema sofre, mesmo assim, de várias falhas:
 - Geração de dados geométricos inconsistentes. Se for necessário extrair a informação de uma peça cortada num formato que não é ortogonal, os ladrilhos base do Revit não são capazes de a apresentar, no sentido em que os parâmetros com essa informação ficam vazios (Fig. 29);
 - Indiferença entre comprimento e largura. Assumindo um ladrilho retangular, e ao rodar este ladrilho 90°, as medidas de comprimento e largura vão trocar de lugar na peça base. Isto pode levar a problemas no registo de informações das peças, uma vez que a forma como a Empresa trabalha obriga que os eixos sejam fixos, independentemente da rotação das peças;
 - Falta de parâmetros para registar mais informação necessária. Estes processos de planeamento do corte de ladrilhos são feitos para a preparação de obra e, como tal, é preciso mais informação para além da geométrica, como o local da peça (em que piso é que se encontra, a que divisão pertence, em que face da divisão - parede ou piso - é que se encontra, qual é a “marca” para distinguir uma dada peça com certas dimensões das outras peças com dimensões diferentes, etc.).

Em contrapartida, os ladrilhos utilizados pela Empresa têm tudo o que é necessário no que diz respeito a registar e guardar informação e conseguem apresentar dados sobre a geometria independentemente do tipo de corte aplicado na peça, mas necessitam de muito mais tempo gasto na modelação para produzir os resultados, visualmente coerentes com a realidade, necessários na preparação das folhas de estereometria que serão entregues aos trabalhadores para a montagem dos mesmos.

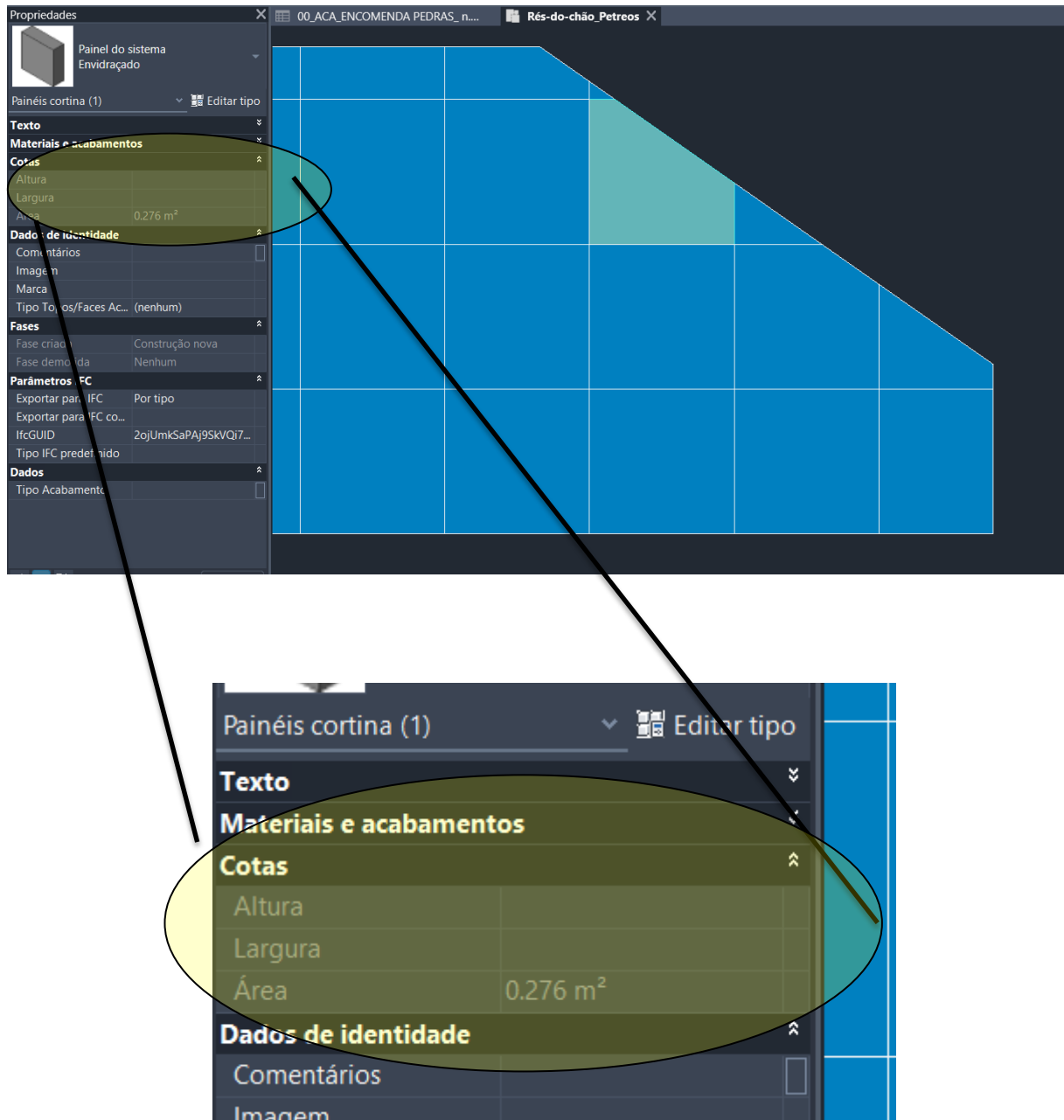


Fig. 29 - Exemplo de ladrilho base no qual as medidas do painel não são extraídas

- **Dificuldades em lidar com objetos que não são nativos à base de modelos do programa:**
Em seguimento aos problemas relacionados com os modelos base do Revit, surgem os problemas com modelos externos. Ao utilizar componentes que não são nativos ao Revit (ou seja, que foram feitos por outros utilizadores), é possível que estes componentes percam certas funções que existem nos elementos base. Um exemplo é o que foi discutido anteriormente nos painéis cortina, em que o modelo nativo era capaz de se ajustar automaticamente à fronteira, mas o modelo feito pela Empresa tinha de ser ajustado manualmente.

- **Necessidade de editar a formatação dos dados ao exportar para Excel:** O Revit, apesar de ser uma ferramenta poderosa no que diz respeito a modelação e geração de informação, apresenta algumas limitações no que diz respeito a exportar ficheiros. A função de exportar as tabelas gera um ficheiro em CSV, que depois tem de ser importado para Excel. Esta tabela obtida a partir de um CSV, no contexto da Empresa, precisa de ser limpa por forma a ser utilizada para os seus trabalhos, mas certas partes da tabela estão bloqueadas e recusam-se a ser editadas, o que resulta em mais trabalho para obter o resultado final. É por isto que a Empresa adquiriu uma extensão “DiRootsOne”, que não só permite exportar diretamente para Excel, mas também permite configurar a formatação da tabela.

3.6.2. RESULTADOS E CONCLUSÕES SOBRE O PROGRAMA DE CORTE

3.6.2.1. Resultados sobre as funções do programa de corte

Primeiramente será feita uma análise dos resultados dos planos de corte determinados no COP, começando pelos parâmetros que foram estudados nas opções de corte 2D (o detalhe sobre o que representa cada um destes parâmetros está apresentado no Anexo 1).

- “Espessura do corte”: O resultado final vai ser tão menos eficiente quanto maior for esta espessura, visto que a simulação vai precisar de mais peças completas para distribuir todas as peças parciais.
- “Tamanho mínimo de desperdício de inventário”: Qualquer resto com pelo menos uma das dimensões menores que o valor estipulado neste parâmetro é considerado como lixo, enquanto que os restos com as duas dimensões acima do valor são consideradas como úteis para reutilizar noutro local/altura.
- “Comprimento de corte máximo”: Alterar este parâmetro pode levar a perdas de eficiência no resultado final, visto que menos comprimento de corte significa uma menor extração de peças. Em casos mais extremos, se se digitar um comprimento de corte menor que as medidas de uma peça completa, o programa envia uma mensagem de erro e põe de parte o que não consegue cortar;
- “Tamanho mínimo de rutura”: É de notar que este parâmetro pode causar erros na simulação, visto que uma peça parcial, em conjunto com a espessura de corte definida, poderá deixar um resto tão fino que fique abaixo do valor estipulado neste parâmetro, e leve a que o sistema ignore a peça parcial que causa o erro;
- “Tolerância para bandas de borda”: Os acabamentos registados pelas bandas de borda podem exigir uma dada espessura para serem efetuadas. Este parâmetro de tolerância estabelece quanto da espessura necessária para efetuar os acabamentos pode ser ignorada para melhorar a eficiência do plano de corte;
- “Tipo de resíduos”: Dependendo da opção que for selecionada, o resultado final apresentará diferenças no comprimento de corte necessário e na quantidade de restos que são descartados (se for usado em conjunto com o parâmetro de tamanho mínimo de desperdício de inventário);
- “Tipo de otimização”: Segundo as análises, as 3 opções de otimização são comparadas a seguir:
 - “De ponta a ponta” - o processo começa a partir de um canto da peça real e vai encaixando peças parciais conforme houver espaço para tal: Das três, esta é a opção mais simples e rápida, embora não seja, necessariamente, a menos eficiente. Os planos gerados com esta opção aparentam ser os mais consistentes, podendo até em certos casos dar consistentemente o mesmo resultado se se repetir a simulação sem alterar parâmetros (Fig. 30).

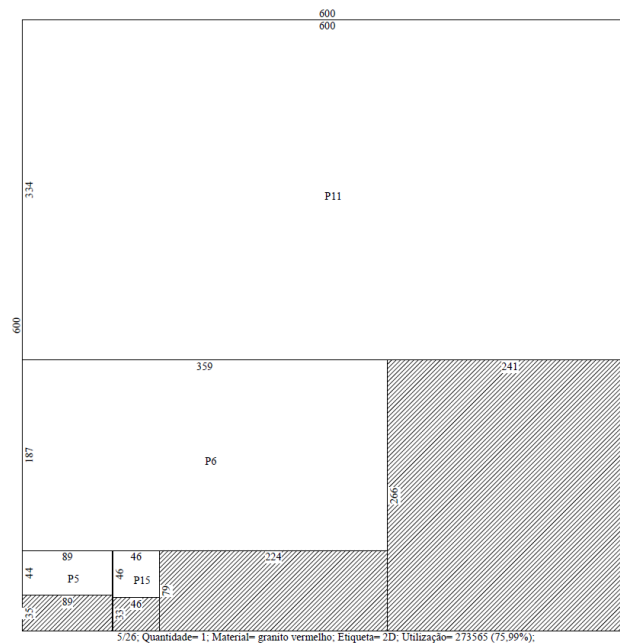


Fig. 30 - Painei feito segundo a otimização "De ponta a ponta"

- “Seguir o contorno das peças” - encaixa as peças parciais de forma a que, por exemplo, as peças parciais 2 e 3 sejam encaixadas ao longo da fronteira da peça parcial 1: Das três opções, esta é a que demora mais tempo a processar. De notar também que, ao seleccionar esta opção, os parâmetros de “Comprimento de corte máximo” e “Tamanho mínimo de rotura” são desativados e o resultado final não apresenta informação sobre o comprimento de corte (Fig. 31).

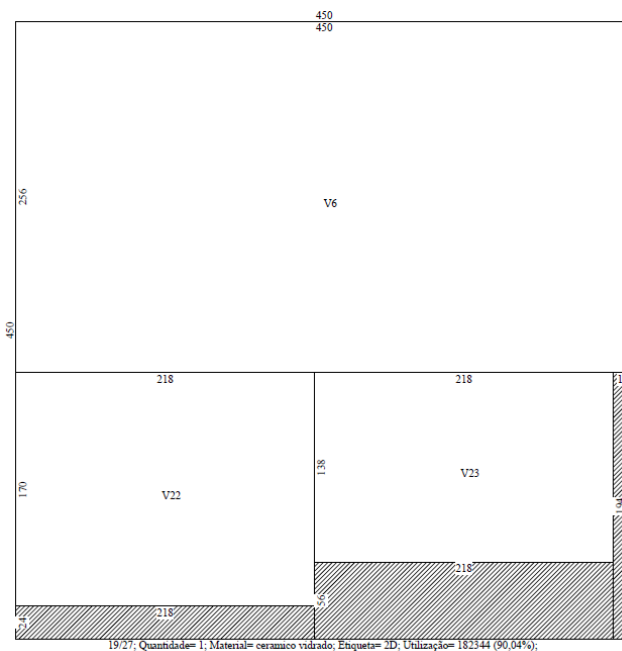


Fig. 31 - Painei feito segundo a otimização "Seguir o contorno das peças"

- “Múltiplos estágios (De ponta a ponta)” - os cortes são feitos em múltiplas fases, seguindo a lógica de colocação de peças da opção de “de ponta a ponta”: Apesar de ser uma versão mais complexa da primeira opção, nem sempre é mais eficiente do que esta. Tendo dito isto, como se pode ver comparando as imagens, os resultados podem ser ligeiramente diferentes em muitos casos (especialmente se se mexer nas opções avançadas) daí ser boa ideia testar ambos e efetuar uma comparação visual, visto que, mesmo que o comprimento de corte seja maior e o nº de resíduos reutilizados seja menor, a organização das peças pode tornar o processo de corte mais simples/interessante (Fig. 32).

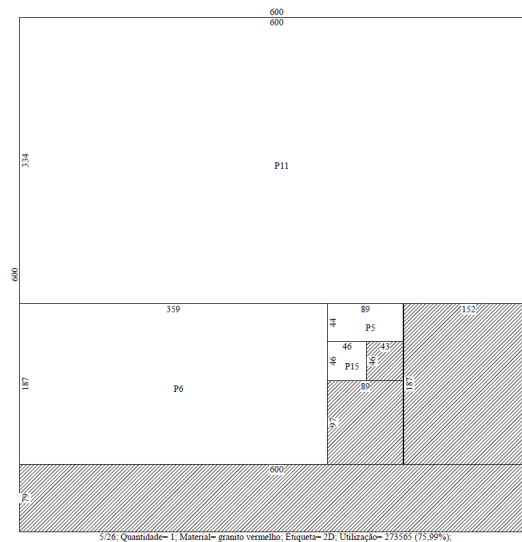


Fig. 32 - Painel feito segundo a otimização "Múltiplos estágios (De ponta a ponta)"

No que diz respeito às opções avançadas:

- ❖ “Primeira direção de corte para otimização de múltiplos estágios”: Segundo as análises, esta opção não tem grande efeito na simulação, sendo que a única diferença que se nota nos casos testados é o plano de corte estar completamente rodado 90° se comparado com a versão que tem a primeira direção de corte na horizontal. É provável que os efeitos desta opção sejam mais visíveis se se desativar a rotação de peças parciais no painel de introdução de dados sobre as mesmas;
- ❖ “Listras de uma peça”: Os cortes são feitos de forma a que a peça seja dividida em listras antes de cortar as mesmas nas peças parciais;
- ❖ “Corte primeiro as tiras de nível superior”: Os cortes são feitos de forma a estarem o mais perto do lado superior da peça;
- ❖ “Pedaços da mesma altura, na última fase”: Esta opção depende da existência de peças parciais com as mesmas dimensões, do seu tamanho relativamente ao tamanho da peça completa e do número de estágios para efetuar cortes.

3.6.2.2. Análises dos resultados dos casos de estudo

A partir dos 4 casos de estudo criados, foram extraídas as tabelas de estereometria dos ladrilhos, sendo estas depois importadas para o COP para gerar diferentes planos de corte. Estes diferentes planos de corte foram gerados pelo programa de acordo com uma lista contendo 36 variantes de alterações, apresentadas no anexo 2, efetuadas nas definições da simulação. Destas 36, as primeiras 29 foram

designadas para testar os diversos parâmetros do COP, e as restantes 7 foram utilizadas para tentar otimizar os planos de corte. Foram depois efetuadas análises dos planos de corte gerados. A partir destas análises, chega-se às seguintes conclusões.

No caso de estudo 1 foi verificada uma eficiência de 92,09% da área total das 50 peças completas utilizadas. Segundo a análise, a eficiência e o número de ladrilhos utilizados nem sempre se mantêm consistentes. Na maior parte das situações (~88,89%) temos a eficiência mencionada anteriormente, mas há casos em que esta varia. Segue-se uma explicação desses casos:

- Variante 3 (eficiência 93,65%): a opção de “Diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas” encolheu algumas das peças parciais o suficiente para que estas consigam encaixar dentro da mesma peça base em vez de em peças separadas (Fig. 33);

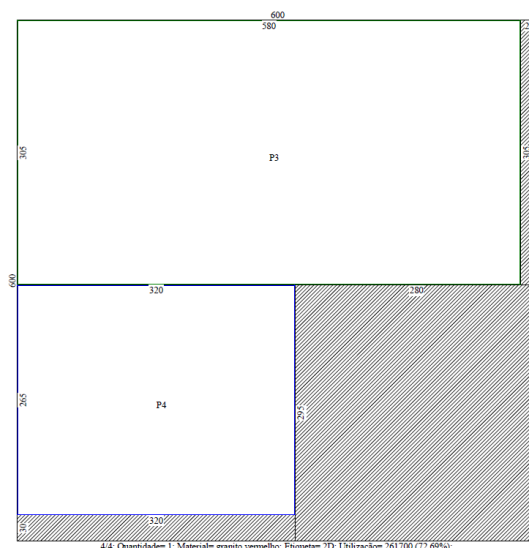


Fig. 33 - Vista dos painéis aparados. O painel P3 era originalmente 600x325mm² e o painel P4 era 380x325mm²

- Variante 10 (impossível): Como o comprimento máximo de corte foi definido a 0,5m numa peça com 0,6x0,6 m², o programa não conseguiu fazer cortes, o que resultou em todas as peças parciais serem ignoradas;
- Variante 26 (eficiência 96,75%): o tamanho de rotura definido nesta variante levou a que algumas peças não fossem contadas no plano. Estas peças, ao serem retiradas, alteraram o número de peças base necessárias de 50 para 42, o que, apesar de não melhorar a colocação de peças parciais, diminuiu a quantidade de restos, levando ao aumento de eficiência;
- Variante 27 (eficiência 90,28%): embora o tamanho de rotura tenha sido diminuído o suficiente para que nenhuma das peças seja ignorada, este ainda é grande o suficiente para impedir a colocação de certas peças junto umas das outras, o que leva a necessitar de mais peças base, diminuindo a eficiência.

Praticamente todas as definições disponibilizadas pelo programa simplesmente alteram a ordem pela qual as peças completas são divididas em peças parciais, daí que a maior parte do processo de otimização consiste em diminuir os resíduos descartados e o comprimento de corte.

Há algumas exceções a esta regra, que são a “Espessura do corte” e o “Tamanho mínimo de rotura”, que interferem com o espaço disponível dentro da peça completa e a opção de “Diminuir o tamanho da peça

com a espessura das bandas”, que altera o tamanho das peças parciais com base na espessura registada nas bandas de borda.

Comparando os resultados da área utilizada total dos ladrilhos, registada na análise (16,576m², eficiência de 92,09%) com o valor da área total dos ladrilhos calculado no Revit através do código desenvolvido para tal propósito (16,574m², eficiência de 92,08%), notamos que os dois valores estão muito próximos, mas não são iguais. Esta ligeira diferença de áreas é causada pela existência, neste caso de estudo, de duas peças com cortes não-lineares (Fig. 34).

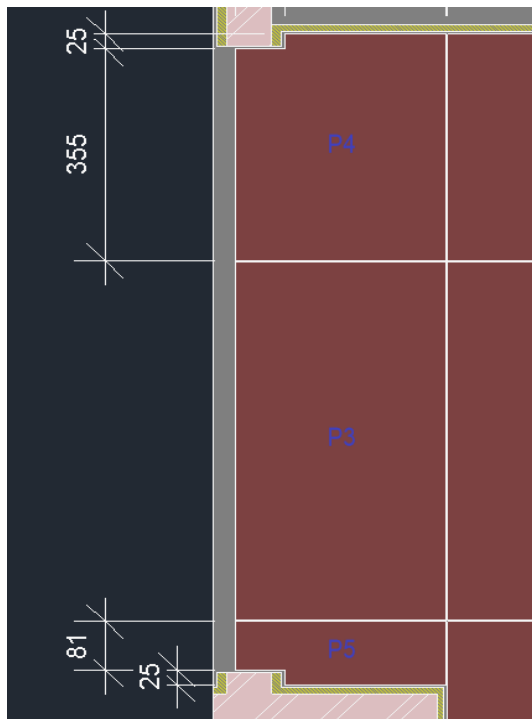


Fig. 34 - Vista das duas peças com cortes não lineares (P4 e P5)

Os entalhes visíveis nestas peças não são tidos em conta pelo COP, o que leva a uma ligeira variação nas áreas.

Nos resultados das 7 variantes de otimização, as variantes 34 e 36 foram as que obtiveram o melhor resultado. Como já foi explicado anteriormente, no ponto 3.5.4, a eficiência de área útil não é o único parâmetro que foi tido em conta. A análise mostrou que, as variantes 30 a 33 e 35 tinham todas uma área de resíduos reciclados menor que as variantes 34 e 36. É de notar que estas duas não apresentam registo do comprimento de corte (efeito de ativar o tipo de otimização “Seguir o contorno das peças”), mas, seguindo a ordem de prioridades definida, a área de restos reutilizados é mais importante que o comprimento de corte.

Analisando o caso de estudo 2, verificamos uma eficiência de 98,28% num total das 50 peças completas utilizadas. Tal como no caso de estudo 1, na maior parte dos casos (~88,89%) temos a eficiência mencionada anteriormente, com alguns casos em que esta varia. Segue-se uma explicação desses casos:

- Variante 3 (eficiência 97,86%): a opção de “Diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas” encolheu algumas das peças parciais. Ao encolherem, deixam mais restos para trás, o que acaba por diminuir a eficiência do plano;

- Variante 10 (impossível): Como o comprimento máximo de corte foi definido a 0,5m numa peça com 0,6x0,6 m², o programa não conseguiu fazer cortes, o que resultou em todas as peças parciais serem ignoradas;
- Variante 26 (eficiência 96,96%): o tamanho de rotura definido nesta variante levou a que algumas peças não fossem contadas no plano. Estas peças, ao serem retiradas, não alteraram o número de peças base necessárias, resultando numa menor área útil para a mesma área total, levando ao decréscimo de eficiência;
- Variante 27 (eficiência 96,35%): embora o tamanho de rotura tenha sido diminuído o suficiente para que nenhuma das peças seja ignorada, este ainda é grande o suficiente para impedir a colocação de certas peças junto umas das outras, o que leva a necessitar de mais peças base, diminuindo a eficiência.

Comparando os resultados da área de ladrilhos utilizada, registada na análise (17,69m², eficiência de 98,28%) com o valor da área total calculado no Revit através do código desenvolvido para tal propósito (16,564m², eficiência de 92,02%), notamos que há uma grande diferença entre os dois valores. Esta diferença de áreas é causada pelas várias peças com cortes angulares, que não são registados pelo COP.

Conforme se vê na Fig. 35, esta peça completa vai ser cortada em várias peças parciais quadradas e retangulares. No entanto, as peças "P14" e "P15" são, na realidade, triangulares, pelo que a sua representação não está correta. Como tal, a eficiência registada pelo programa não está exata quando comparada com a realidade. É de acrescentar que esta diferença não é ainda mais acentuada porque, na fase de preparação da tabela, foram excluídas algumas peças que foram consideradas como sendo extraídas a partir dos resultados do plano de corte.

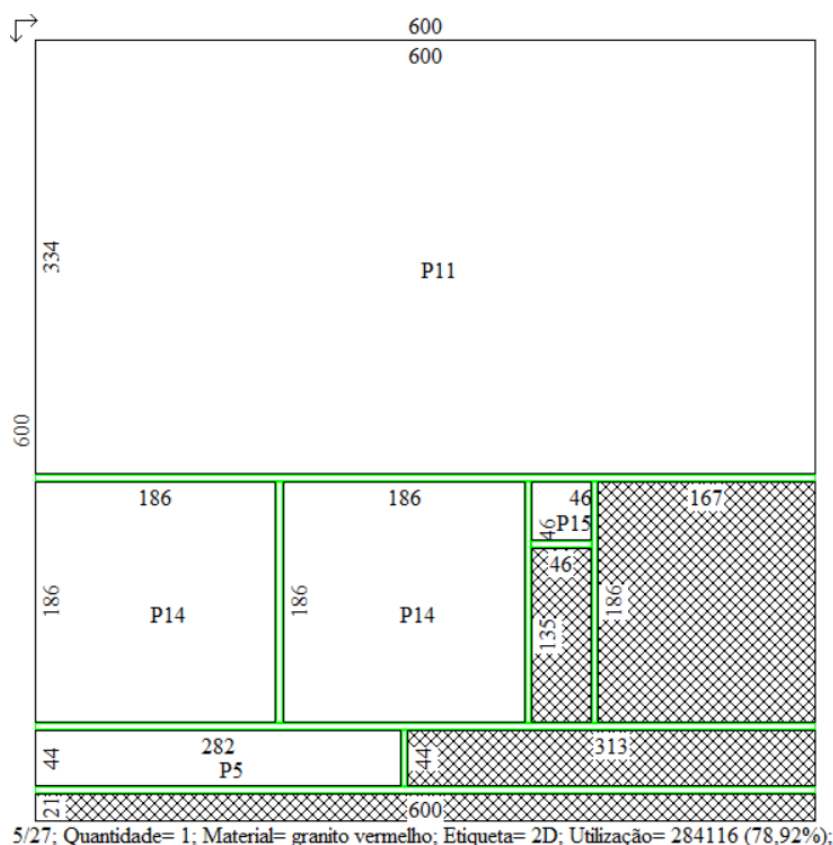


Fig. 35 - Plano de corte de um dos ladrilhos no caso de estudo 2.

Nos resultados das 7 variantes de otimização, as variantes 34 e 36 foram as que obtiveram o melhor resultado. A análise mostrou que, as variantes 30 a 33 e 35 tinham todas uma área de resíduos reciclados menor que as variantes 34 e 36. É de notar que estas duas não apresentam registo do comprimento de corte (efeito de ativar o tipo de otimização “Seguir o contorno das peças”), mas, seguindo a ordem de prioridades definida, a área de restos reutilizados é mais importante que o comprimento de corte.

No caso de estudo 3 verificamos uma eficiência de 99,38% da área total das 184 peças completas utilizadas. Segundo a análise, a eficiência e o número de ladrilhos utilizados nem sempre se mantêm consistente. Na maior parte dos casos (~80,56%) temos a eficiência mencionada anteriormente, mas há casos em que esta varia. Segue-se uma explicação desses casos:

- Variante 3 (eficiência 98,4%): a opção de “Diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas” encolheu algumas das peças parciais. Ao encolherem, deixam mais restos para trás, o que acaba por diminuir a eficiência do plano;
- Variante 5 (eficiência 98,84%): o aumento da espessura de corte foi grande o suficiente para que certas peças completas não consigam encaixar o mesmo número de peças parciais, aumentando o número de peças utilizadas de 184 para 185;
- Variante 6 (eficiência 97,26%): o mesmo caso que a variante anterior, só que pior, sendo que neste caso o número de peças utilizadas sobe de 184 para 188;
- Variante 12 (eficiência 99,56%): o tamanho de rotura definido nesta variante levou a que algumas peças não fossem contadas no plano. Estas peças, ao serem retiradas, alteraram o número de peças base necessárias de 184 para 177, o que, apesar de não melhorar a colocação de peças parciais, diminuiu a quantidade de restos, levando ao aumento de eficiência;
- Variante 26 (eficiência 99%): o tamanho de rotura definido nesta variante também levou a que algumas peças não fossem contadas no plano, tal como na variante 12. No entanto, neste caso, o número de peças base necessárias desceu apenas de 184 para 178. Esta diferença de uma peça é suficiente para fazer com que a área de peças parciais não contadas seja maior que a área de restos não contados, levando a um decréscimo de eficiência;
- Variante 27 (eficiência 98,84%): embora o tamanho de rotura tenha sido diminuído o suficiente para que nenhuma das peças seja ignorada, este ainda é grande o suficiente para impedir a colocação de certas peças junto umas das outras, o que leva a necessitar de mais peças base, diminuindo a eficiência;
- Variante 29 (eficiência 98,84%): tal como nas variantes 3 e 5, o aumento da espessura de corte foi grande o suficiente para que certas peças completas não consigam encaixar o mesmo número de peças parciais, aumentando o número de peças utilizadas.

Comparando os resultados da área de ladrilhos utilizada, registada na análise (16,457m², eficiência de 99,38%) com o valor da área total dos ladrilhos calculado no Revit através do código desenvolvido para tal propósito (16,451m², eficiência de 99,34%), notamos que os dois valores estão próximos, mas não são iguais. Esta ligeira diferença de áreas é causada pela existência de três peças neste caso de estudo com cortes não-lineares. Os entalhes que aparecem nestas peças, que estão posicionadas de tal forma a que intersejam cantos e esquinas na parede, não é tido em conta pelo COP, o que leva a uma ligeira variação nas áreas.

Nos resultados das 7 variantes de otimização, as variantes 31 e 35 foram as que obtiveram o melhor resultado. A análise mostrou que, as variantes 30, 32 a 34 e 36 têm todas um tempo de corrida maior que as variantes 31 e 35.

No caso de estudo 4 verificamos uma eficiência de 99,4% da área total das 263 peças completas utilizadas. Segundo a análise, a eficiência e o número de ladrilhos utilizados nem sempre se mantem consistente. Em cerca de metade dos casos (~55,56%) temos a eficiência mencionada anteriormente, mas há casos em que esta varia. Segue-se uma explicação desses casos:

- Variante 3 (eficiência 98,93%): a opção de “Diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas” encolheu algumas das peças parciais. Ao encolherem, deixam mais restos para trás, o que acaba por diminuir a eficiência do plano;
- Variante 5 (eficiência 98,28%): o aumento da espessura de corte foi grande o suficiente para que certas peças completas não consigam encaixar o mesmo número de peças parciais, aumentando o número de peças utilizadas de 263 para 266;
- Variante 6 (eficiência 97,21%): o mesmo caso que a variante anterior, só que com piores resultados, sendo que neste caso o número de peças utilizadas sobe de 263 para 267;
- Variante 11 (eficiência 99,27%): o tamanho de rotura definido nesta variante levou a que algumas peças não fossem contadas no plano. Neste caso, o número de peças base necessárias desceu de 263 para 262. A área de peças parciais não contadas acaba por ser maior que a área de restos não contados, levando a um decréscimo de eficiência;
- Variante 12 (eficiência 98,92%): o tamanho de rotura definido nesta variante levou a que algumas peças não fossem contadas no plano. Neste caso, o número de peças base necessárias desceu de 263 para 257. A área de peças parciais não contadas acaba por ser maior que a área de restos não contados, levando a um decréscimo de eficiência;
- Variante 26 (eficiência 98,93%): o tamanho de rotura definido nesta variante também levou a que algumas peças não fossem contadas no plano, tal como na variante 12. No entanto, neste caso, o número de peças base necessárias desceu apenas de 184 para 178. Esta diferença de uma peça é suficiente para tornar a área de peças parciais não contadas seja maior que a área de restos não contados, levando a um decréscimo de eficiência;
- Variante 27 (eficiência 99,03%): embora o tamanho de rotura tenha sido diminuído o suficiente para que nenhuma das peças seja ignorada, este ainda é grande o suficiente para impedir a colocação de certas peças junto umas das outras, o que leva a necessitar de mais peças base, diminuindo a eficiência;
- Variante 29 (eficiência 98,28%): tal como nas variantes 3 e 5, o aumento da espessura de corte foi grande o suficiente para que certas peças completas não consigam encaixar o mesmo número de peças parciais, aumentando o número de peças utilizadas.

Existem ainda os casos particulares das variantes 4 e 30 a 36, todas com uma eficiência de 99,03% da área total das 264 peças completas utilizadas. Estes casos estão todos relacionados com o mesmo parâmetro: a espessura de corte igual a 5mm. Uma espessura de corte igual a 0mm é impossível, pelo que se pode concluir que a eficiência de 99,03% fica próximo do melhor que se pode obter nesta análise.

Comparando os resultados da área de ladrilhos utilizada registada na análise (13,072m², eficiência de 99,4%) com o valor da área total dos ladrilhos calculado no Revit através do código desenvolvido para tal propósito (12,935m², eficiência de 98,37%), notamos que os dois valores estão próximos, mas não são iguais. Esta ligeira diferença de áreas é causada pela existência de várias peças, neste caso de estudo, com cortes não-lineares. Os entalhes e cortes triangulares que aparecem nestas peças, que estão posicionadas de tal forma que intersejam cantos e esquinas na parede, não são tidos em conta pelo COP, o que leva a uma variação nas áreas.

Nos resultados das 7 variantes de otimização, a variante 32 foi a que obteve o melhor resultado. A análise mostrou que, as variantes 30, 31 e 33 a 36 têm todas uma área total de resíduos reciclados menor (e, consequentemente, uma área total de resíduos descartados maior) que a variante 32.

Comparando os resultados obtidos nos quatro casos de estudo, podemos tirar algumas conclusões acerca das diferenças geradas pela alteração dos alinhamento, tamanho e tipo de ladrilhos.

Primeiramente, serão analisadas as diferenças de eficiência de área, comparando, uma a uma, os casos de estudo 2, 3 e 4 com o caso de estudo 1, que servirá de base por ser o que teve os valores de eficiência mais próximos da realidade.

Entre o caso de estudo 2 e o caso de estudo 1 temos as eficiências de 99,28%, e 92,02%, respetivamente. Esta diferença de eficiência é provocada pelas diferenças na estereometria das peças.

No caso de estudo 1, os eixos dos ladrilhos estão alinhados com as linhas de fronteira do elemento, resultando no ajuste automático das peças sem muita interferência do utilizador. Como tal, as peças que são registadas na tabela de estereometria são muito próximas da realidade.

No caso de estudo 2 (Fig. 36), os eixos dos ladrilhos estão a um ângulo de 45 graus das linhas de fronteira do elemento, levando a que os elementos na fronteira tenham cortes angulares. Estes cortes não são registados nem pela tabela nem pelo COP, que trata estes elementos como se fossem os quadrados/retângulos que contêm estes elementos. A isto junta-se um facto adicional. Os ladrilhos foram alinhados de forma a representar uma montagem realista, ou seja, temos várias peças na fronteira com cortes que dividem a peças exatamente a meio, o que, na tabela, ficaria representado como se fosse uma peça completa.

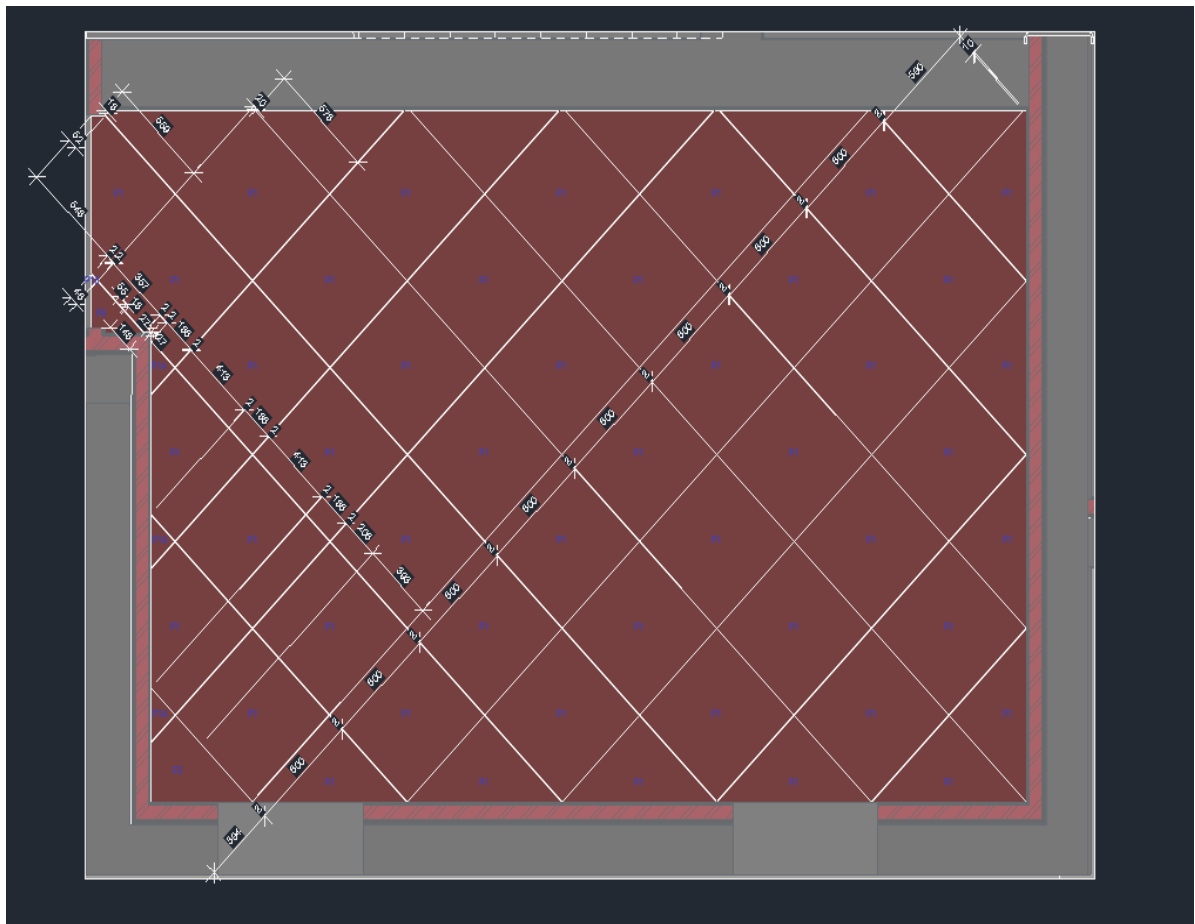


Fig. 36 - Imagem da estereometria da biblioteca no caso de estudo 2, com os ladrilhos alinhados com o canto inferior direito

Entre o caso de estudo 3 e o caso de estudo 1 temos as eficiências de 99,38%, e 92,02%, respetivamente. Esta diferença de eficiência é provocada pelas diferenças no tamanho das peças.

Os ladrilhos utilizados no caso de estudo 3 têm $\frac{1}{4}$ da área dos ladrilhos do caso de estudo 1. Por terem menores dimensões, estes ladrilhos preenchem melhor a área da divisão, o que leva às peças necessitarem de menos cortes para se ajustarem. Juntamente com isto, o aumento do número de peças não é proporcional entre as peças completas e as peças parciais. Quando as peças completas aumentam em quantidade, elas aumentam em duas direções (vertical e horizontal), enquanto que as peças ao longo da fronteira só aumentam em uma direção. Isto nota-se ao contar as peças nos dois casos de estudo. No caso de estudo 1 temos 40 peças completas e 11 peças parciais. No caso de estudo 3 temos 172 peças completas e 25 peças parciais. Este aumento é tão desproporcional que vai, inevitavelmente, aumentar a eficiência do plano de corte.

Entre o caso de estudo 4 e o caso de estudo 1 temos as eficiências de 99,4%, e 92,02%, respetivamente. Esta diferença de eficiência também é provocada pelas diferenças no tamanho de peças.

No caso de estudo 1 temos ladrilhos com $60 \times 60 = 3.600 \text{ cm}^2$, enquanto que no caso de estudo 4 temos tábuas de $50 \times 10 = 500 \text{ cm}^2$. As tábuas são mais pequenas que os ladrilhos, pelo que são de esperar os mesmos efeitos que se verificaram anteriormente na comparação entre os casos de estudo 3 e 1, só que estes são ainda mais visíveis devido ao facto de as peças do caso de estudo 4 ocuparem uma área menor do que as peças do caso de estudo 3, o que as torna ainda mais numerosas.

Por último, temos algumas conclusões tiradas a partir de uma observação geral dos 4 casos de estudo:

- Ao longo das simulações, os comprimentos de corte mantêm-se consistentes entre os casos de estudo, estando normalmente dentro da mesma ordem de grandeza;
- O número de variantes com eficiência diferente da base aumenta à medida que o número de peças aumenta;
- Apesar de criar certas variantes com parâmetros que nunca aconteceriam na realidade, a eficiência dos planos de corte nunca passou abaixo dos 92%;
- Os casos com a maior diferença entre a área útil registada na análise do COP e a área real anotada pelo algoritmo criado no Revit são os casos de estudo 2 e 4. Estes dois casos de estudo são os que contém peças com cortes triangulares, que o COP não consegue visualizar;

3.6.2.3. Conclusões sobre o COP

Em suma, o COP, apesar de ser pensado para as indústrias de marcenaria e da vidraria, é bastante útil no setor AEC.

Os principais pontos fortes deste programa são:

- **Maior rapidez no processo de criar um plano de corte** – O processo de criar um plano de corte manualmente é bastante moroso, sendo que em muitos casos passa a ser inviável do ponto de vista económico. Com o programa, os casos mais complexos podem demorar apenas alguns minutos, o que torna a ideia de criar um plano de corte muito mais atrativa;
- **Registo de várias estatísticas do corte** – Após calcular o plano de corte, o COP gera um registo contendo informações sobre:
 - A área total utilizada;
 - Todos os resíduos reciclados;
 - Todos os resíduos descartados;
 - A área de folhas utilizadas;

- O comprimento de corte;
- O preço final;
- O número de folhas utilizadas;
- O preço do total de folhas;
- A percentagem de área utilizada;
- O tempo que demorou a decorrer a simulação.
- **Capacidade de calcular cortes bidimensionais e unidimensionais** – Apesar de não ter sido analisado neste trabalho, o COP também tem a capacidade de criar planos de corte para peças unidimensionais, como, por exemplo, tubos de PVC;
- **Capacidade de importar dados diretamente do Excel;**
- **Registos para acabamentos das bermas das peças** – Conforme foi visto anteriormente, as bandas de borda permitem registar os acabamentos a efetuar nas bermas de uma dada peça. Isto pode ser útil dependendo das especificações de qualidade/acabamento que são dadas no projeto.

No entanto, o programa tem algumas limitações face ao que é necessário para a Construção Civil e que levam a uma eficiência no processo abaixo do ideal.

Estes pontos fracos são:

- **Incapacidade de processar cortes que não sejam retangulares** – O COP só trata de cortes simples e ortogonais. Tudo o que envolva cortes triangulares e/ou entalhes numa dada peça não é tido em conta pelo programa, pelo que tal informação tem de ser entregue aos instaladores através das representações nas folhas de estereometria e nos comentários descritos pelas tabelas de estereometria;
- **Falta de base de dados para registar marcas e informação sobre peças utilizadas;**
- **Nenhum sistema para gerar/organizar registos de encomendas;**
- **Falta de indicadores de medidas concretos** – As medidas dos resultados estão inteiramente dependentes das medidas que são usadas no registo de informação, o que pode levar a um maior erro humano;
- **Nenhuma ligação com *softwares* de gestão de encomendas;**
- **Base de informação sobre o programa com pouca informação e incompleta** – A página de ajuda do programa não apresenta muita informação sobre as funções que o programa dispõe e, em alguns casos, nem tem sequer registo acerca de certas funções.

Após esta análise conclui-se que faz sentido procurar alternativas ao COP, que resolvam as limitações apresentadas (começando pela primeira limitação identificada) e procurar também soluções que resolvam o problema identificado no Revit, de não conseguir exportar diretamente para Excel nem lidar bem com modelos não nativos do programa.

No sentido de melhorar estas limitações:

- Elaborou-se uma lista de funcionalidades que deverão ser previstas numa aplicação alternativa ao COP e pensada de raiz para a Construção Civil (capítulo 4);
- Efetuou-se uma comparação entre os programas investigados em 2.3. e o COP para procurar uma solução que tenha um leque de funcionalidades mais completo. O resultado está apresentado em 5.2.;

- Dado que não pode ser equacionada a substituição do Revit, optou-se por tentar desenvolver rotinas neste programa que resolvam os problemas identificados. O resultado desse desenvolvimento está apresentado em 5.3.

3.7. CONCLUSÕES SOBRE O PROCESSO ATUAL

Após analisar todos os aspetos relacionados com o processo atualmente empregue pela Empresa para criar um plano de corte, seguem-se as conclusões acerca do conjunto como um todo.

Para recapitular; o processo completo das atividades da Empresa para preparar os materiais necessários na montagem de peças de revestimento em obra é:

1. Modelar os elementos em Revit;
2. Importar e preencher manualmente a tabela de estereometria;
3. Criar e preencher as folhas de estereometria;
4. Exportar a tabela de estereometria para Excel através do DiRootsOne;
5. Importar a tabela para o COP e gerar o plano de corte;
6. Enviar o plano, a tabela e as folhas para estaleiro.

De referir primeiro que a tabela, o plano e as folhas são indispensáveis para o trabalho, sendo também as partes do processo que não necessitam de alterações.

O Revit é uma ferramenta crucial não só para este trabalho, mas também para outras tarefas da Empresa. É uma ferramenta poderosa, não só no que faz, mas também no que pode fazer. As falhas que foram mencionadas neste trabalho podem ser facilmente corrigidas, pelo que esta parte do processo deveria ser mantida.

O DiRootsOne é utilizado apenas para transferir a tabela para Excel, servindo de ligação entre o Revit e o COP. Como é possível criar uma alternativa para esta função, este programa pode não ser necessário para esta tarefa.

O COP é necessário para gerar o plano de corte. É uma ferramenta com um leque de funções já bem desenvolvido, mas nunca foi feito para o setor AEC e carece de certas funções importantes (como, por exemplo, a capacidade de registar o formato real da peça). No entanto, ao contrário do Revit, o COP não apresenta potencial de ser modificado para corrigir estas falhas, pelo que a solução será procurar ou criar outro programa para substituir este.

Após a investigação efetuada conclui-se que a conjunção de programas escolhida pela Empresa **permite reduzir os desperdícios desta atividade de ~30% [29] para menos de 10%**, mas é passível de desenvolvimentos que melhorem a integração e tornem a solução mais rápida e menos sujeita a intervenção e erros humanos. Está neste caso o trabalho agora desenvolvido com a criação em Revit do código destinado a melhorar a extração da informação do modelo e de a exportá-la para Excel, com a consequente eliminação da necessidade do DiRootsOne.

4

FUNCIONALIDADES A PREVER NUM PROGRAMA DE CORTE DE PEÇAS

4.1. DESCRIÇÃO

A partir da análise do método atual, efetuada no capítulo anterior, é possível criar um guião das funcionalidades e objetivos a cumprir para uma ferramenta de criação de planos de corte. Esta ferramenta conteria as funções já vistas no COP, as de gestão de logística e, ainda, um conjunto de funções que não aparecem em qualquer outro dos programas identificados, por serem mais relacionadas com o setor AEC.

De notar que este capítulo não pretende ser um caderno de encargos, mas apenas um levantamento dos conteúdos e das funcionalidades que é necessário prever numa aplicação destinada a esta atividade.

Neste guião não entram as questões de modelação e de extração de informação no *software* de modelação (Revit ou outro), visto que:

- Está focado nas funções de programa de corte de peças e na respetiva gestão;
- Está pensado de forma a que seja possível utilizá-la, quer para criar uma ferramenta que funcione dentro do *software* de modelação, quer para criar um programa independente. Parece, contudo, e se tal for possível, ser ideal a programação dentro do *software* de modelação, minimizando as necessidades de integração.

Neste capítulo são listados os objetivos e funções que consideramos que devem ser cumpridas por um programa pensado para o setor, passando por:

1. O que se espera receber da aplicação, ou seja, o que é que a aplicação deve gerar;
2. Que informação tem de ser introduzida no programa;
3. De onde deve vir essa informação;
4. Com que outras aplicações em uso pela empresa deve estar interligado.

Na Fig. 37 mostra-se o fluxograma com a representação macro dos blocos funcionais a prever neste programa, estando o detalhe de cada bloco apresentado no Anexo 3.

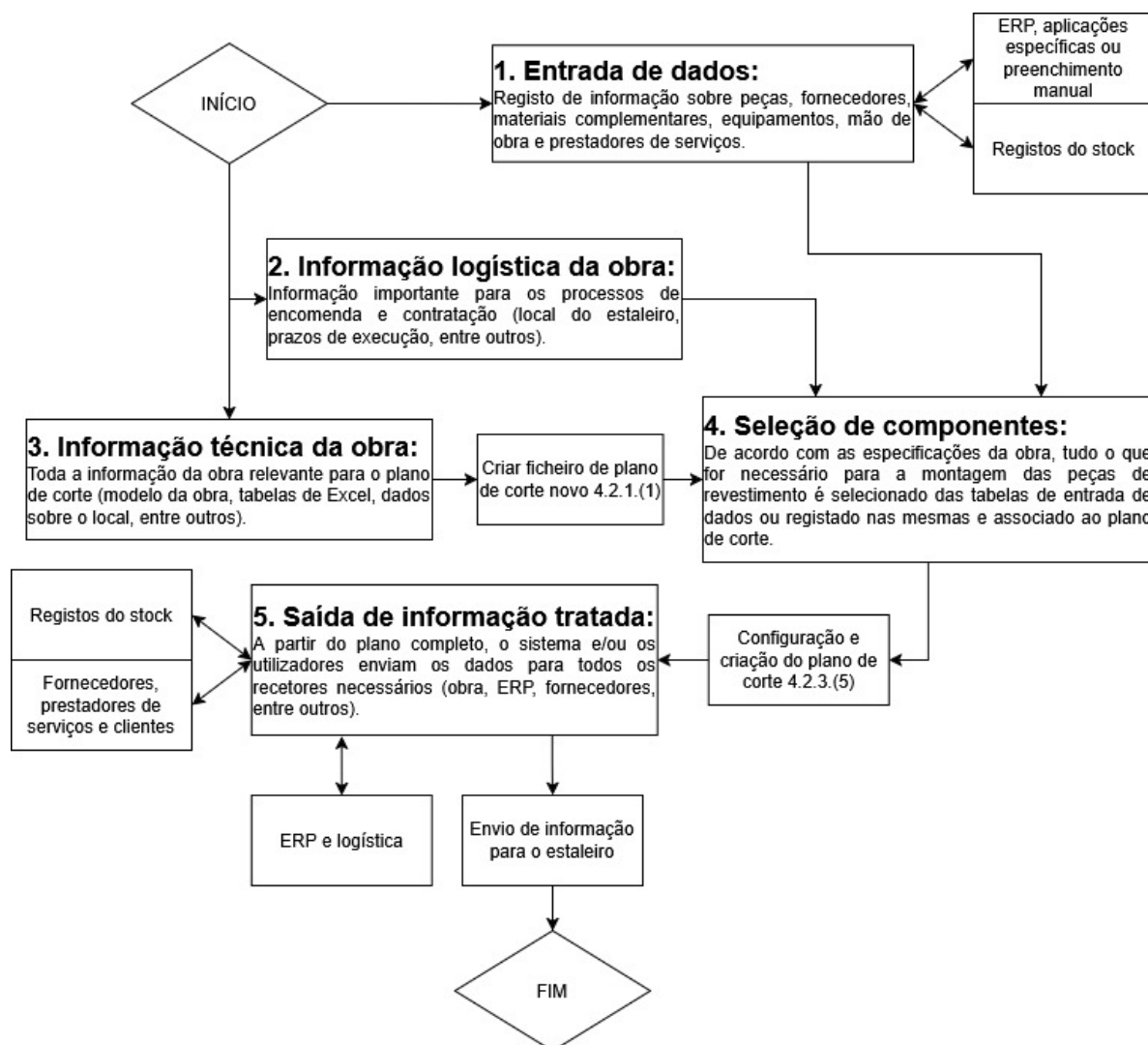


Fig. 37 - Fluxograma representativo das grandes áreas funcionais que o programa deve prever

4.2. FUNCIONALIDADES A PREVER

4.2.1. FUNCIONALIDADES GERAIS

Neste subcapítulo são listadas as funções que são transversais ao programa, relacionadas com a gestão dos ficheiros:

1. Criar, editar, armazenar e apagar ficheiros para cada plano de corte individual;
2. Selecionar, adicionar e remover painéis do plano;
3. Configurar o aspeto visual dos resultados, passando por:
 - a) Medidas;
 - b) Tamanho, cor e tipo de letra do texto;
 - c) Organização das folhas.
4. Incorporar os algoritmos de corte mais adequados à atividade a que se destina [47];
5. Possibilitar o acesso a ficheiros de trabalhos recentes (intervalo de tempo a definir).

NOTA: Juntamente com estas definições, o programa deverá ser capaz de guardar *templates* de configurações do aspeto dos resultados

4.2.2. O QUE SE ESPERA RECEBER DA APLICAÇÃO

Agora será descrito o que se espera receber da aplicação, ou seja, tudo o que tem a ver com o plano de corte gerado, a informação contida no mesmo e a informação complementar acerca da montagem das peças.

Para que o programa gere um plano de corte simples de compreender, mas contendo toda a informação necessária, considera-se recomendável seguir a estratégia do COP de gerar dois ficheiros separados, um com o plano em si e outro contendo tabelas com todos os dados numéricos relacionados com o plano (preços de componentes individuais, quantidades, tempo necessário para a montagem, etc.).

Para apresentar esta informação necessária para a obra, o programa tem de ser capaz de executar as seguintes operações:

1. Apresentação do plano e das dimensões de corte de cada peça completa (com detalhe sobre as linhas de corte, para utilização dos operadores e com a capacidade de agrupar todas as peças completas com cortes exatamente iguais) bem como das estatísticas associadas (Fig. 69);

NOTA: um plano de corte gerado por este programa, a ser apresentado em PDF, deverá funcionar aproximadamente da mesma forma que os do COP (Fig. 38), acrescido de um pacote de informação complementar, que inclua a sequência de cortes a efetuar. Toda a demais informação, como seja as tabelas com as estatísticas das simulações, poderá continuar no documento adicional, também em PDF, semelhante ao gerado pelo COP.

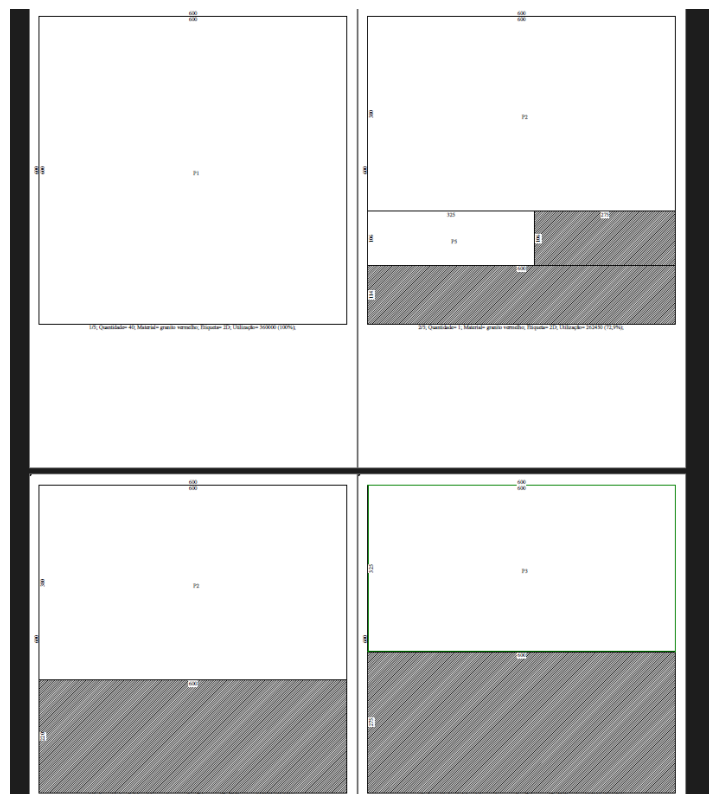


Fig. 38 - Exemplo das primeiras 4 páginas de um plano de corte gerado pelo COP

2. Para as opções de materiais e equipamentos escolhidas, fazer simulações diferentes, segundo vários critérios, e propor diferentes planos de corte. Para cada cenário deve indicar:
 - a) O número e a área total de peças base necessárias: Efetuar uma distinção entre as peças completas que vão ser cortadas para obter peças parciais e as que vão ser utilizadas inteiras;
 - b) A mão de obra necessária, segundo a área de peças, o tempo disponível e o custo por hora dos operários;
 - c) Os custos totais e parciais do preço final;
 - d) As sobras (material não utilizado, mas reaproveitável);
 - e) O comprimento total de cortes necessários, para se avaliar se o tempo perdido nessas operações é excessivo;
 - f) A área e o peso do desperdício previsto.

NOTA: Numa primeira fase considerar os cortes irregulares como retângulos regulares, aceitando o desperdício adicional inerente. Contudo, o algoritmo deverá evoluir para a capacidade de lidar com cortes não ortogonais.

3. Em conjugação com o ponto anterior, possibilidade de comparação de diferentes opções de materiais ou dimensões (como o analisado nos casos de estudo de peças), mediante seleção prévia dos mesmos feita pelo operador, com indicação, para cada opção (Fig. 69):
 - a) Das quantidades de peças necessárias;
 - b) Das necessidades de mão de obra;
 - c) Dos equipamentos necessários;
 - d) Dos custos;
 - e) Dos tempos de execução e dos prazos associados;
 - f) Da quantidade de desperdícios:
 1. Em unidade de área;
 2. Em unidade de peso;
4. Possibilidade de gestão de stocks de peças completas e materiais sobrantes de aquisições anteriores (peças completas que sobraram ou bocados de grande dimensão (a definir em função das dimensões mínimas aceitáveis ou em percentagem da área de uma peça completa)), podendo, numa futura aplicação dos mesmos materiais, indicar a sua existência, a quantidade disponível e em que armazéns (tabela 2) e (Fig. 69);

Tabela 2 - peças disponíveis (stocks) em armazém

Código interno	material	Nº de peças inteiras disponíveis	Nº de peças parciais disponíveis	Área total disponível (m ²)	Valor (€)	Armazém
1	Ladrilhos cerâmicos	50	10	5		
2	Placas de vinil	20	10	2		
...	...	...	...	...		

5. Para todas as simulações, definir o prazo limite de receção dos materiais no estaleiro de obra, em função da data prevista para a sua execução e do tempo de aplicação estimado (Fig. 69):
 - a) Indicar quais os fornecedores disponíveis e quais os preços;
 - b) Para uma obra longa, possibilidade de definir vários prazos de entrega parciais;
6. Para todas as simulações, definir as datas necessárias para uso dos equipamentos auxiliares, em função da data prevista para a sua execução e do tempo de utilização estimado (Fig. 69):
 - a) Se forem equipamentos próprios da empresa, indicar qual a localização e qual o responsável pela sua gestão;
 - b) Se forem subcontratados, indicar quais os prestadores de serviço possíveis e respetivos contactos e quais os preços;
7. Para todas as simulações, definir as datas limite para a entrada em obra dos instaladores e dos operários das máquinas, em função da data prevista para a sua execução (Fig. 69):
 - a) Se forem trabalhadores da empresa, indicar qual o responsável pela sua gestão e respetivos contactos;
 - b) Se forem contratados, indicar quais os subcontratantes possíveis, preços e contatos;
8. Para todas as simulações, gerar alertas sobre incompatibilidades e outras condicionantes (mecânicas, químicas ou outras), de acordo com informação contida na tabela 5;

4.2.3. INFORMAÇÃO A FORNECER AO PROGRAMA

Uma das utilidades necessárias para este programa será a gestão integrada da informação de todos os aspetos relacionados com a montagem dos elementos de revestimento de superfícies (os tipos de elementos, materiais complementares à montagem, máquinas e operários, etc.). Como tal, é preciso que o programa seja capaz de receber e guardar informação acerca destes componentes, tendo um registo de marcas e preços disponíveis por forma a que se possa testar várias opções para revestimentos de superfícies.

Para além disto, é necessário que o programa possa incorporar os elementos escolhidos no cálculo do plano de corte, ou seja, se um utilizador indica que um dado material da marca x e uma máquina y (registados no sistema) são necessários para um dado plano de corte, então o sistema deve pegar nos dados relacionados com esses componentes e utilizá-los no cálculo dos valores finais.

Portanto, é necessário que o programa a desenvolver seja capaz de incluir:

1. Definição dos tipos, quantidades e dimensões de peças a adquirir e dos respetivos custos (tabelas 3, 4, 5 e 6) (Fig. 65):
 - a) Especificação do tipo de peça (ladrilho, tábuas, chapa, etc.);
 - b) Especificação das características relevantes (físicas, químicas, geométricas, estéticas, etc.), por tipo de peça;
 - c) Especificação dos fabricantes, por tipo de peça;
 - d) Especificação dos fornecedores, por tipo de peça;
 - e) Especificação dos preços, por fornecedor e por tipo de peça;

- f) Especificação do peso e do volume das peças a utilizar (para cálculo das cargas, dimensionamento dos camiões de transporte, etc.);
- 2. Definição dos tipos e rácios de materiais complementares associados (cimento, espaçadores, travejamentos, ...) por peça e respetivos custos (tabela 7) e (Fig. 65):
 - a) Especificação dos materiais, por tipo de componente;
 - b) Especificação dos fabricantes, por tipo de componente;
 - c) Especificação dos fornecedores, por tipo de componente;
 - d) Especificação dos preços por fornecedor e por tipo de componente;
- 3. Definição de equipamentos (máquinas necessárias) e respetivos custos. Especificação dos possíveis fornecedores (tabela 8) e (Fig. 65):
 - a) Especificação dos fornecedores, por equipamento (distinguir se for equipamento próprio);
 - b) Especificação dos equipamentos;
 - c) Especificação dos preços por fornecedor e por equipamento;
- 4. Definição de tipos de mão de obra necessária e do tempo necessário para a aplicação dos materiais (em horas-homem/m²) e respetivos custos (tabelas 9 e 10) e (Fig. 65):
 - a) Especificação dos prestadores de serviço (distinguir se for pessoal próprio);
 - b) Especificação dos preços por prestador de serviço;
 - c) Especificação do tempo necessário para a aplicação;
- 5. Definição dos parâmetros importantes para o processo de corte, usando o COP como modelo e conforme apresentados no anexo 1, de que são exemplos:
 - a) Espessura do corte;
 - b) Tipo de otimização;
 - c) Tamanho mínimo de desperdício de inventário;
 - d) Tamanho mínimo de rutura;
 - e) Bandas de borda;
 - f) Comprimento de corte;
 - g) Tipo de resíduos;
 - h) Tolerância para bandas de Borda.

4.2.4. INTRODUÇÃO E REGISTO DE DADOS

Para além dos dados que têm de ser introduzidos no programa, é preciso também especificar como é que esses dados vão ser introduzidos e registados no sistema.

Das várias hipóteses possíveis, escolheu-se o registo de dados em tabelas, com a possibilidade de introduzir dados manualmente, ou de importar informação através de ficheiros externos (por exemplo, Excel) que contêm informação relacionada com o plano.

No que diz respeito a esta informação, é importante ter em conta o facto de que deveria ser possível utilizar o programa em todas as fases da obra, desde o projeto, até à edificação, passando pela preparação. Para tal, é preciso que o programa seja capaz de ler vários tipos de ficheiro. Um bom exemplo disto está nas diferenças de trabalho entre uma equipa projetista e uma equipa de preparação de obra. O projeto foca-se mais em testar o que é possível fazer, pelo que recorre mais ao preenchimento

manual das tabelas e em testar várias hipóteses para revestimentos. Por outro lado, na preparação da obra, estes recebem a informação sobre o que vai ser utilizado, sendo o seu trabalho mais focado em preparar o material para as equipas de obra. Neste último caso, seria mais útil se o programa fosse capaz de ler as fichas técnicas que lhes são entregues, por forma a tratar mais rapidamente de gerar o plano de corte.

Para que tudo isto seja possível, é preciso que o programa seja capaz de:

1. Receber e extrair informação de ficheiros de Excel ou outras folhas de cálculo (Fig. 67);
2. Extrair informação sobre materiais a partir de fichas técnicas ou de registar a informação manualmente (Fig. 67);
3. Permitir a criação e a manutenção de uma base de dados de peças, bem como dos materiais auxiliares e dos equipamentos necessários à respetiva instalação. Parametrização de todos eles (dimensões, custos, fornecedores, entre outros) – tabelas 3, 4, 5 e 6 e figuras 66 e 67.
Incluir também bases de dados complementares com informação sobre:
 - a) Materiais complementares (caraterísticas, preços, fornecedores, etc.) – Tabela 7;
 - b) Equipamentos (caraterísticas, preços, fornecedores, etc.) – Tabela 8;
 - c) Mão de Obra interna (caraterísticas, preços, fornecedores, etc.) – Tabela 9;
 - d) Prestadores de Serviços (caraterísticas, preços, fornecedores, etc.) – Tabela 10;
4. Permitir a criação e a manutenção de bases de dados referentes à obra específica, como sejam os prazos de execução (Tabela 11) e os endereço, caraterísticas e contactos da obra (Tabela 12).

As bases de dados correspondentes às tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12 serão acedidas a partir dos dados contidos na tabela 6, por forma a complementar a informação útil a fornecer pela aplicação;

Tabela 3 - Caraterização das peças – especificação das caraterísticas base (tabela para uso permanente)

Código interno	material	Fabricante	Código do fabric.	Compri-mento (mm)	Largura (mm)	Espes-sura (mm)	Cor	Peso unit. (g)
1	Ladrilhos cerâmicos	...	...	400	500	10		1500
2	Placas de vinil	...	...	500	500	5		200
...	...	...	...	...	...	...		...

Tabela 4 - Caraterização das peças – continuação 1. Especificação de custos e fornecedores do material (tabela para uso permanente)

Código interno	material	Tempo de aplic. (m ² /h)	Fornecedor 1	Custo/h	...	Fornecedor n	Custo/h
1	Ladrilhos cerâmicos	5	F1	120	...	F5	118
2	Placas de vinil	10	F1	100	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 5 - Caracterização das peças – continuação 2. Características do material a ter em consideração (tabela para uso permanente)

Código interno	material	Carateríst. Físicas a ter em conta	c. Químicas a ter em conta	Carateríst. Mecânicas a ter em conta	Cuidados especiais	Incompatibilidades (registar código interno)
1	Ladrilhos cerâmicos	...	...	...	...	...
2	Placas de vinil	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

Tabela 6 - Caracterização das peças – continuação 3. Especificação dos materiais complementares e equipamentos necessários (tabela para uso permanente)

Código interno	material	Materiais complementares	Equipamentos	Mão de obra interna	Prestadores de serviços
1	Ladrilhos cerâmicos	MC1 e MC5	E1, E3 e E4	MO1	PS5, PS6
2	Placas de vinil	MC2	E2	MO2 e MO3	PS2, PS5
...	...				

Tabela 7 - Listagem de materiais complementares (tabela para uso permanente) (Fig. 68)

Código interno	material	Preço (€/m ²)	Tempo de aplic. (h/m ²)	Fornecedor 1	Forn. 2	...	Forn. n
MC1	Cimento...	5	5	F1	F10	...	F14
MC2	Cola...	1	10	F1	F3	...	F5
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 8 - Listagem de equipamentos (tabela para uso permanente) (Fig. 68)

Código interno	Especificação	Custo/h	Equipamento próprio	Fornecedor 1 a n
E1	Máq. Corte de cerâmicos	...	...	...
E2	empilhador	...	...	...
...	...	...	...	...

Tabela 9 - Especificação de custos de mão de obra interna (tabela para uso permanente) (Fig. 68)

Código interno	Função	Custo de contratação (€/m ²) ou (€/h)	Contactos do responsável pela mão de obra
MO1	Trolha	50	...
MO2	Aplicador de ladrilhos	40	...
MO3	Pintor	45	...
MO4	Pedreiro	55	...
...	...	...	...

Tabela 10 - Base de dados de prestadores de serviços (tabela para uso permanente) (Fig. 68)

Código interno	Profissional.	Custo (€/m ²) ou (€/m ²)	Endereço e Contacto NIF	Nº telef. 1 1	...	Contacto n	Nº telef. n
PS1	Trolha	...	...	...	...	...	...
PS2	Aplicador de ladrilhos	...	...	...	...	...	...
PS3	Pintor	...	...	...	...	...	...
PS4	Pedreiro	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 11 - Prazos de execução (tabela específica da obra)

Cód.	material	Data limite de conclusão da montagem	tolerância	Dias de antecedência para a entrega dos materiais no canteiro de obra (margem de segurança)
1	Ladrilhos cerâmicos	...	...	...
2	Placas de vinil	...	...	...
...	...	...	...	...

Tabela 12 - Endereço, características e contactos da obra (tabela específica da obra)

Identific.	Endereço	Caraterísticas do local	Caraterísticas do projeto	Contacto 1			...	Contacto n		
				Nome	Telef.	mail	...	Nome	Telef.	mail
...	...	Edifício de apartamento	Pavimento da entrada	...	...	...	...	...	...	...

4.2.5. LIGAÇÃO A OUTRAS APLICAÇÕES DA EMPRESA

Por último, é preciso prever algumas funcionalidades relacionadas com exportar e transferir a informação para outros programas.

Uma parte bastante importante para o programa, para além do que pode registar e fazer, está relacionado com o que pode importar de e fornecer a outros programas. Como tal, é preciso estabelecer as ligações possivelmente necessárias a outros programas utilizados pela Empresa.

Para que tudo isto seja possível, é preciso que o programa seja capaz de:

1. Possibilidade de ligação ao ERP (ou ao *software* empresarial responsável por esta função) para consulta ou receção dos dados de gestão de:
 - a) Fornecedores de materiais, para alimentação das tabelas 3 a 7. Se tal não for possível, alimentação manual destas bases de dados;
 - b) Fornecedores de equipamentos, para alimentação da tabela 8. Se tal não for possível, alimentação manual destas bases de dados;
 - c) Mão de obra interna, para alimentação da tabela 9. Se tal não for possível, alimentação manual destas bases de dados;
 - d) Prestadores de serviço, para alimentação da tabela 10. Se tal não for possível, alimentação manual destas bases de dados;
2. Acesso ao ERP (ou ao programa responsável por esta função) para envio da informação necessária à emissão das notas de encomenda. Se tal não for possível, emissão autónoma das notas de encomenda (Fig. 69);
3. Acesso ao ERP (ou ao programa responsável por esta função) para envio da informação necessária para gestão de custos, gestão da faturação e outras utilizações que sejam atributo do *software* de ERP em uso (Fig. 69).

E, em iterações posteriores do programa, este deveria ser capaz de:

4. Ligar diretamente a máquinas de corte automático e transferir os planos de corte;
5. Ligar diretamente ao *software* de modelação por forma a aceder à tabela de estereometria associada ao modelo, retirando a necessidade de exportar esta informação para uma tabela Excel para depois importar para o programa (Fig. 67);
6. Ligar diretamente aos sistemas dos fornecedores ou dos prestadores de serviços para colocação das notas de encomenda.

5

MELHORIAS AO PROCESSO ATUAL

5.1. DESCRIÇÃO

No capítulo anterior foi apresentada uma lista de funções e objetivos a serem cumpridos por uma ferramenta ou programa a ser utilizado para todas as tarefas, exceto a modelação e a extração de informação do modelo. Este guião daria origem a uma aplicação muito focada nas necessidades do setor AEC que, como já se sabe pelas pesquisas anteriores, aparenta não existir, sendo que o mais próximo são os programas feitos para outras indústrias como a marcenaria e a vidraria.

A criação de uma aplicação com base no guião necessitaria de um conhecimento aprofundado de informática, algo que o autor deste projeto não possui. No entanto, é ainda possível criar melhorias ao processo atual, em particular nas vertentes da modelação e da extração de informação do modelo.

Para alcançar estes objetivos dividiu-se o trabalho a executar em duas vertentes:

- Comparar programas externos ou ferramentas internas ao Revit com o COP para tentar encontrar uma ferramenta de planos de corte com um melhor desempenho que o mesmo;
- Codificar em Dynamo uma ferramenta que ajude no processo de modelação e extração de informação.

Neste capítulo serão apresentados os resultados destes trabalhos.

5.2. COMPARAÇÃO DE OUTROS PROGRAMAS DE CORTE COM O COP

De seguida é efetuada uma comparação entre os programas de corte de peças pesquisados ao longo deste trabalho e o COP. O objetivo desta comparação é verificar se existem atualmente ferramentas com melhor desempenho ou mais funcionalidades que o COP.

Perfect Cut [12]

Apesar de ser feito para a indústria da vidraria, este programa apresenta muitas funcionalidades interessantes para a Construção Civil, advindas da suíte de programas e extensões associados a este. Inclui-se nelas a capacidade de registar o formato real da peça e a ligação a máquinas de corte, entre outros. Em termos de funções, este programa não apresenta nada relacionado com a gestão de encomendas e, por ser exclusivamente para vidraria, pode haver problemas no que diz respeito à atribuição de materiais às peças, mas aparenta ser uma alternativa interessante ao COP.

Como não existe versão grátis, não foi possível analisar mais profundamente.

CutList Optimizer [30]

Da sua avaliação, conclui-se que este programa é uma versão mais fraca que o COP. Tem menos parâmetros para ajustar o plano de corte e as disponíveis não acrescentam funções àquelas que já são oferecidas pela solução adotada. Também é de notar que, por ser exclusivamente desenvolvido para operar com cortes 2D, não é capaz de criar um plano para cortes 1D.

OptCut Free [31]

Este *software* aparenta ter o mesmo leque de opções e configurações que o COP. Como os dois programas são semelhantes nas questões de função e nível de detalhe, o único valor acrescentado que esta opção traz é o facto de ser grátis enquanto que o COP é pago.

Cutlist EVO [32]

Este *software* contém os mesmos parâmetros que os que são utilizados no COP, como espessura de corte, bandas de borda, controlo da orientação das peças e outras. Juntamente com tudo isto, tem uma função que permite ao programa considerar os restos de um plano de corte no plano seguinte. No entanto, o leque de configurações possíveis é mais limitado do que o do COP. Além disso, trata-se de um programa online, que pode apresentar limitações em situações de uso intensivo.

CutList Plus fx [33]

Neste caso, o programa é apresentado como sendo uma ferramenta simples de utilizar, pelo que não tem o mesmo leque de parâmetros que se vê no COP. Continua a ter as opções relacionadas com bandas de borda e direção de fibras do material, mas tudo o que tenha a ver com alterar a lógica pela qual o plano é formado não está presente. Em vez disso, estão disponíveis várias ferramentas para registar custos de mão de obra, criar mapas de quantidades de materiais e anotar informação acerca de fornecedores. Apesar das vantagens, as limitações indicadas tornam-no pouco interessante.

CutMaster 2D [34]

Tirando o facto de que permite exportar informação em formatos de AUTOCAD DXF e XML, este programa não apresenta nada de novo em relação ao COP, pelo que não apresenta um real valor acrescentado.

Optimalon Software [35]

Esta aplicação tem menos funções e menos opções para ditar de que forma o corte vai ser processado que o COP. Resta também dizer que, como é online, pode apresentar limitações em situações de uso intensivo.

Next Nesting Software X [36]

Este programa é muito semelhante ao COP, mas com uma diferença muito importante: não está restrito a peças retangulares. Os formatos reais podem ser introduzidos e associados às peças parciais respetivas,

o que permite gerar um plano de corte muito mais próximo da realidade. No entanto, trata-se de um programa ainda em versão BETA e com limitações significativas como a falta da funcionalidade de importação de ficheiros em Excel e falta de definição dos acabamentos das peças pós-corte [37]. Como estas funções estão em processo de desenvolvimento, este programa deverá ser tido em conta em análises futuras.

Cut Micro [38]

Este programa, comparado com o COP, apresenta um conjunto menor de funcionalidades, visto que foi feito para servir como base para modificações manuais feitas pelo utilizador.

Sketchcut [39]

Por ser uma aplicação para dispositivos móveis, este programa tem menos opções de configuração que o COP e algumas destas estão disponíveis apenas se se adquirir a versão paga, pelo que não traz valor acrescentado relativamente à solução adotada.

Optimik [40]

Este programa tem menos opções que o COP, focando-se mais nas questões de gestão dos produtos. Para esta pesquisa, o que interessa encontrar são melhorias para o processo de corte de peças, pelo que o programa não responde ao requerido.

Maxcut [41]

Programa capaz de criar planos de corte 2D, com algumas opções para ajustar o plano, feito para a indústria da marcenaria. As opções desta ferramenta são semelhantes às do COP, pelo que não faz mais que o mesmo.

AutoPanelSizer [42], CutPlanner [43], AutoNester-T [44] e AutoCompactor [45]

Como nenhum destes produtos é um programa completo, não servem para substituir o COP, mas podem ser úteis para criar um programa segundo o guião criado no capítulo 4.

Assim, e da análise efetuada, conclui-se que a solução adotada (Revit e COP) é a que melhor responde à situação atual, dirigindo o esforço para o desenvolvimento de uma ferramenta de *software* que melhore o desempenho da solução atual de modelação.

As aplicações que poderão ser equivalentes ao COP não trazem real valor acrescentado e têm que ser adquiridas, enquanto o COP já está pago, pelo que não se justifica a migração. Exceptuam-se as Perfect Cut, OptCut Free e Next Nesting Software X, que poderão ser merecedoras de nova análise dentro de algum tempo.

5.3. CRIAÇÃO DE CÓDIGO

Recorreu-se à programação em Dynamo para desenvolver uma ferramenta simples capaz de juntar o que há de bom nos modelos de ladrilhos base do Revit e nos modelos de ladrilhos utilizados pela Empresa,

ou seja, ladrilhos que são fáceis de modelar e que contêm toda a informação necessária para as atividades da mesma. Junta-se a isto também a capacidade de exportar a informação para Excel sem precisar de um programa externo. É de notar que, durante a programação foi descoberto que, ao importar o ficheiro da tabela de estereometria para o modelo, todos os parâmetros são automaticamente criados e associados aos ladrilhos, pelo que não é preciso que o programa os volte a criar.

Para tal, o caminho mais simples é fazer uso dos ladrilhos base do Revit e adicionar automaticamente a informação necessária que está em falta. Para concretizar isto, é preciso que a ferramenta:

- Extraia a informação necessária do que foi modelado e que a aplique nos parâmetros corretos;
- Exporte o resultado final para Excel.

A partir desta ideia base, foi criado um código em Dynamo capaz de cumprir com estas funções, tratando de quase tudo o que tem a ver com preencher a tabela de estereometria e exportá-la para Excel (o tipo de acabamento, o material e os comentários da peça ficam por preencher, visto que não é possível tratar de tal automaticamente). O código foi disponibilizado publicamente no Github [46], com autorização da Empresa.

Este código, representado na Fig. 39, tem as seguintes funções:

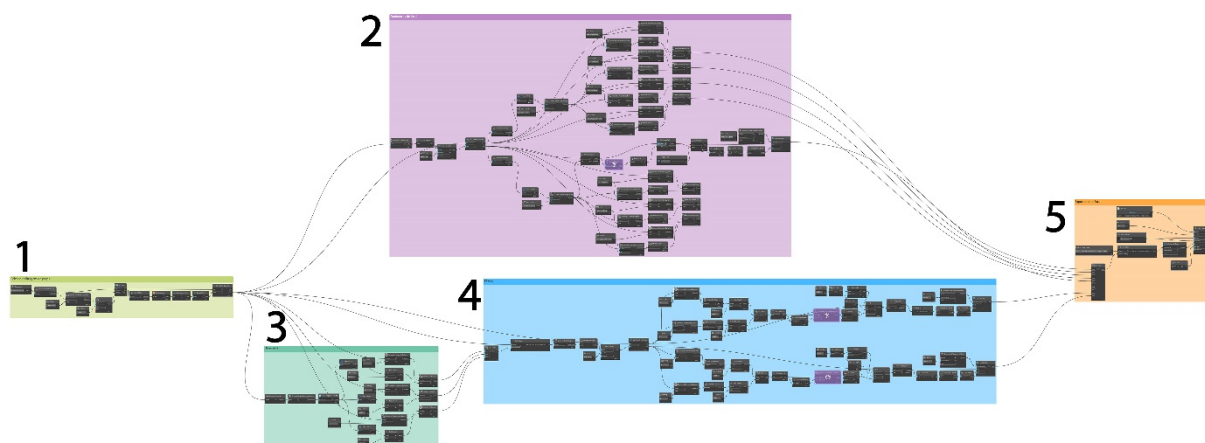


Fig. 39 - Diagrama de blocos do código da segunda versão

1. **Seleção e filtragem de ladrilhos** – seleciona os ladrilhos e aplica dois filtros, um com base no que está registado nos comentários (retirar os que têm o comentário de “vazio”) e outro no valor da área (retirar ladrilhos que não existem, mas que são “criados” pelo programa) para limpar a lista de tudo o que não é desejado (Fig. 40, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 73);

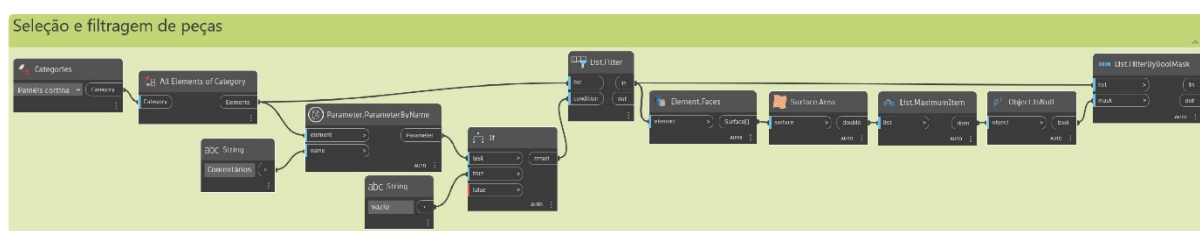


Fig. 40 - Grupo relacionado com seleção e filtragem

2. **Parâmetros de local** – para automatizar o apontamento de dados de local, o sistema seleciona o “ambiente” e extrai a informação a partir daí (um “ambiente” é um marcador que aponta o espaço de uma divisão). Nas propriedades deste ambiente, os parâmetros de local ficam disponíveis aquando do carregamento do ficheiro da tabela para o modelo. Como tal, pode-se preencher manualmente os parâmetros de local nos ambientes à medida que são modelados e depois extrair esses dados e aplicá-los nos ladrilhos com o programa (Fig. 41).

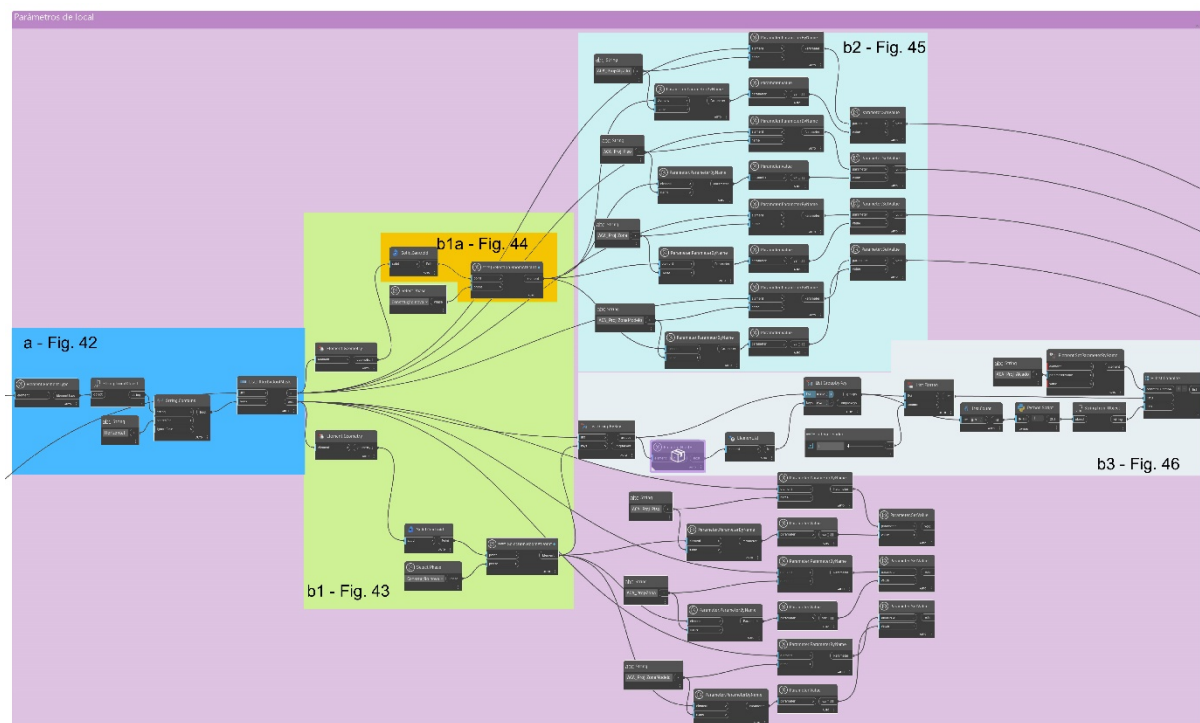


Fig. 41 - Grupo relacionado com os parâmetros de local

Para tal, esta secção do programa faz o seguinte:

- a) Pega nos ladrilhos que foram obtidos através do grupo anterior e separa-os entre ladrilhos de piso (horizontais) e ladrilhos de parede (verticais) (Fig. 42);

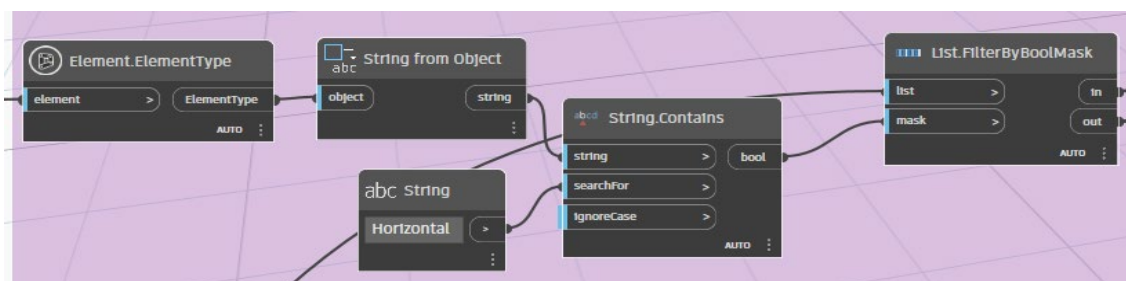


Fig. 42 - Separação entre ladrilhos horizontais e verticais (no bloco à direita o “in” é por onde saem os ladrilhos marcados como horizontais e o “out” por onde saem os marcados como verticais)

- b) Obtém as coordenadas dos pontos que representam o centro do ladrilho e determina em que ambiente é que cada um destes pontos se inserem (Fig. 43);

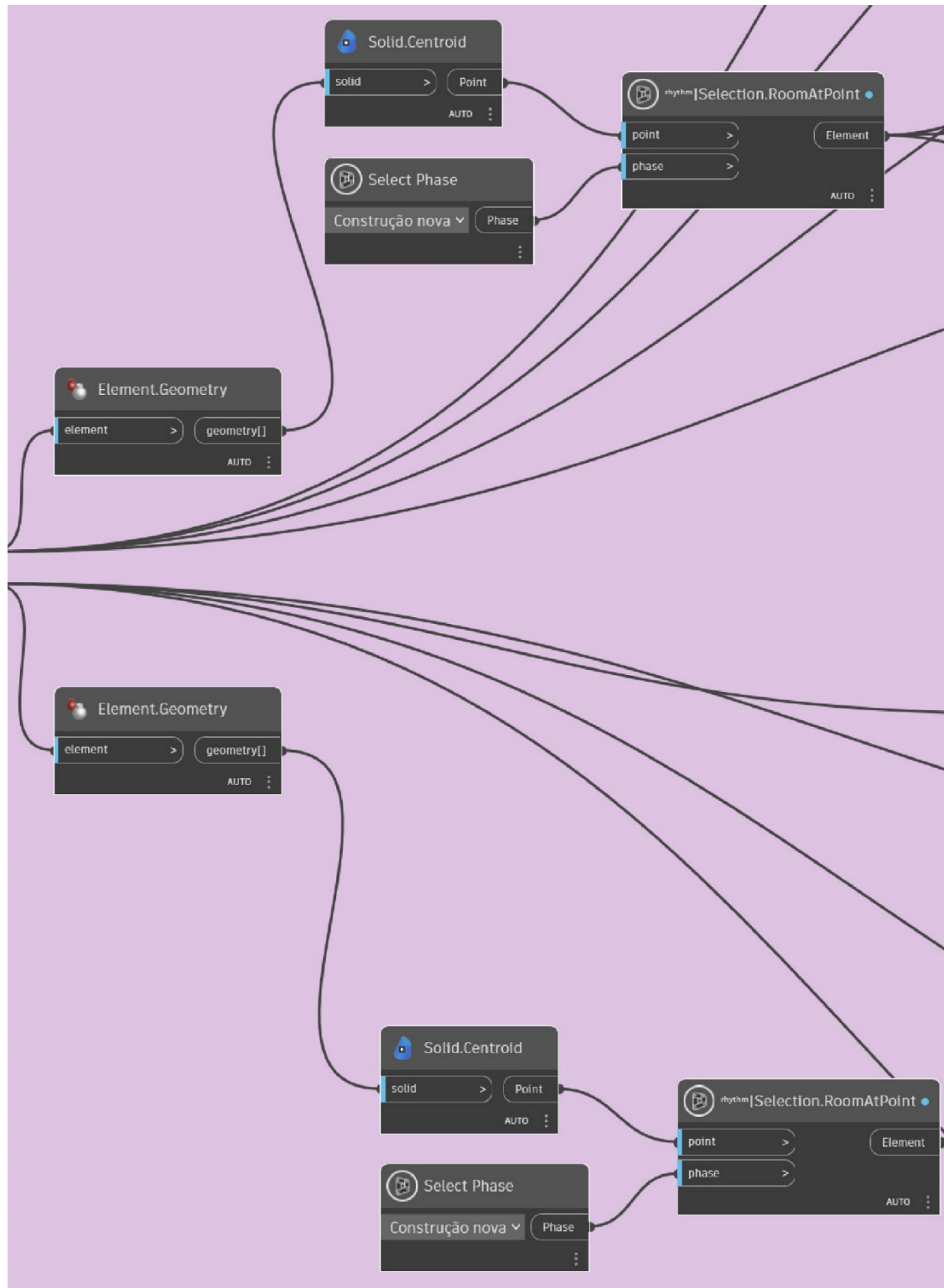


Fig. 43 - Determinação do ambiente associado a cada ladrilho (o conjunto acima é para os ladrilhos horizontais e o de baixo é para os verticais)

No caso dos ladrilhos horizontais, o programa acede aos campos de informação do ambiente, extrai os dados relevantes e aplica-os nos campos de informação dos ladrilhos.

Para garantir que a informação é corretamente aplicada (ou seja, que cada ladrilho tenha a informação da respetiva sala e não a de outra sala qualquer), utiliza-se diretamente a informação extraída anteriormente ao determinar o ambiente associado a cada ladrilho. Pela forma como o bloco de código funciona, o ambiente é registado ladrilho a ladrilho e na mesma ordem pela qual os mesmos são apresentados ao bloco, daí que o resultado é uma lista na qual os mesmos ambientes são repetidos várias vezes (Fig. 44).

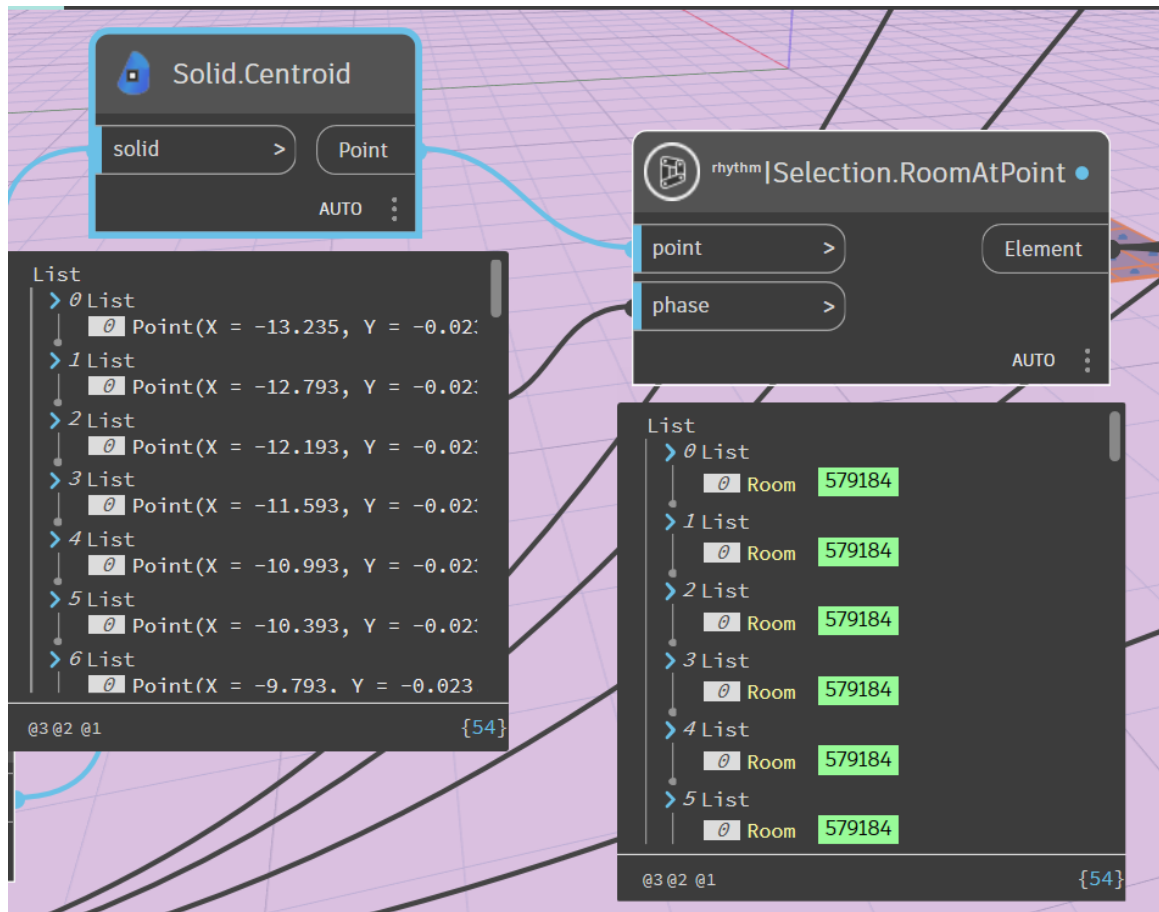


Fig. 44 - Exemplo demonstrativo da organização dos resultados numa simulação. À esquerda estão os pontos que representam o centro do ladrilho. À direita a lista que repete o mesmo ambiente (room) várias vezes, conforme a ordem dos ladrilhos

A partir da lista de ambientes repetidos, os campos de informação necessários são acedidos, a informação é extraída, os mesmos campos são acedidos nos ladrilhos e a informação é registada neles (Fig. 45).

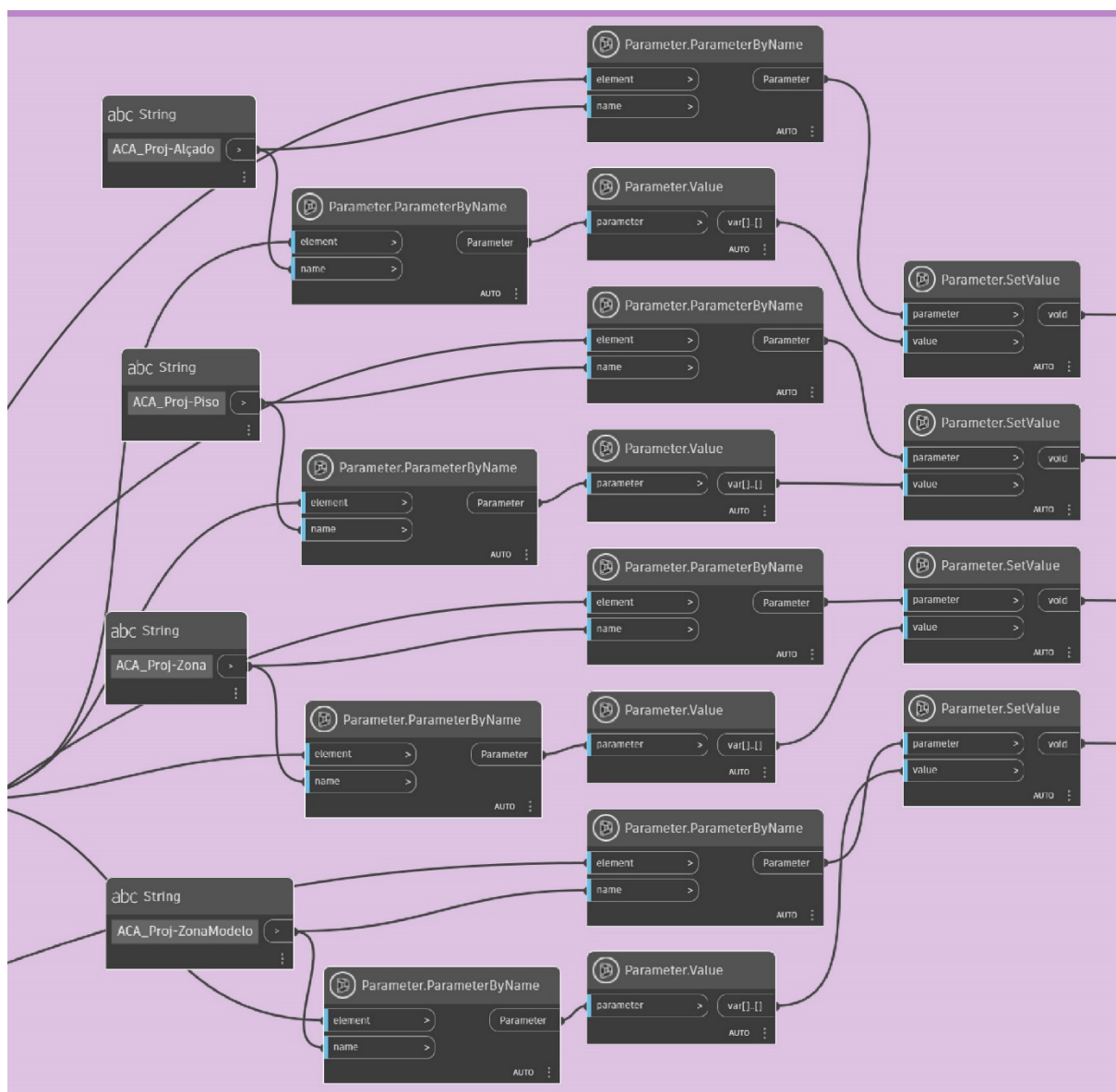


Fig. 45 - Extração e aplicação de informação

Para os ladrilhos verticais, a situação para os parâmetros de “Piso”, “Zona” e “ZonaModelo” é a mesma que nos ladrilhos horizontais. No entanto, o parâmetro de alçado é tratado de forma diferente (Fig. 46, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 74). Primeiro, a lista ladrilhos é agrupada em sublistas com base no ambiente a que pertencem. Depois a lista é reagrupada com base no alçado a que pertence com a ajuda de um nó de código de uma extensão para o Dynamo chamada CLOCKWORK. Isto resulta numa lista com dois subníveis, uma com base nos ambientes, outra abaixo da primeira com base nos alçados. A partir daqui o código conta o número de alçados por ambiente e cria uma lista com várias sublistas com números de 1 a n (sendo n o número de alçados dentro de um dado ambiente), todas na mesma ordem que os dados introduzidos. Por último, os números são atribuídos aos respetivos ladrilhos, registrando o alçado em que se inserem.

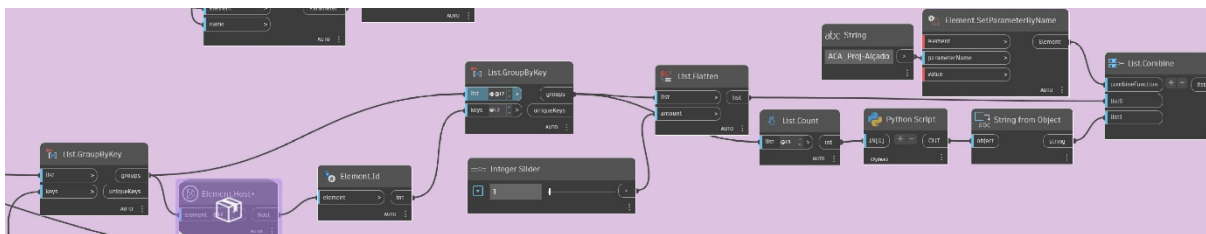


Fig. 46 - Registro de alçado do ladrilho vertical

3. **Dimensões** – a partir da seleção e filtragem de ladrilhos, é extraída a geometria dos mesmos, criada uma fronteira à volta dela e, a partir dessa fronteira, é gerado um sólido retangular.

Para criar a fronteira há um bloco de código chamado “BoundingBox.ByMinimumVolume”, que cria uma caixa delimitadora da peça de forma a ocupar o mínimo volume possível. Com o sólido retangular, o comprimento, largura e altura do mesmo são extraídos e os valores são aplicados em parâmetros próprios. O sólido é usado para extrair a informação geométrica dos ladrilhos de forma mais precisa e consistente (Fig. 47, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 75);

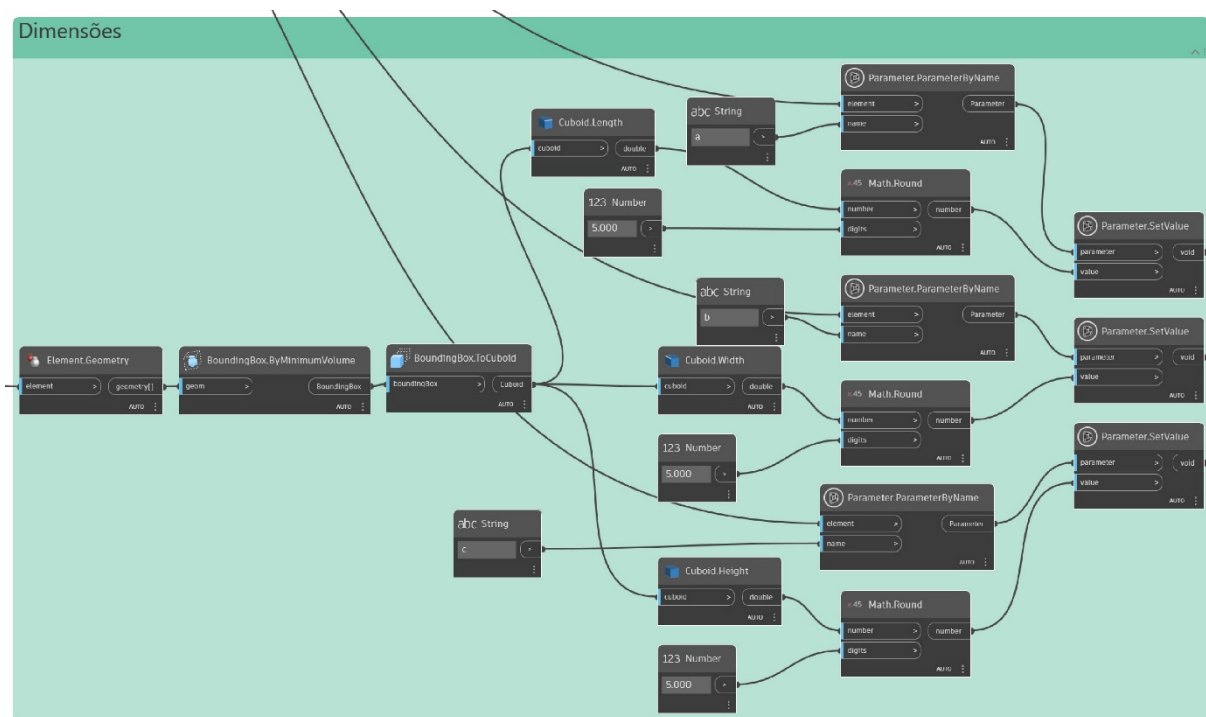


Fig. 47 - Grupo responsável pela atribuição de dimensões

4. **Atribuição de marca** – depois de gerar a informação sobre as dimensões da peça, o programa trata de atribuir uma marca à mesma com base nessas dimensões, sendo que tudo o que tiver o mesmo tamanho tem a mesma marca (Fig. 48).

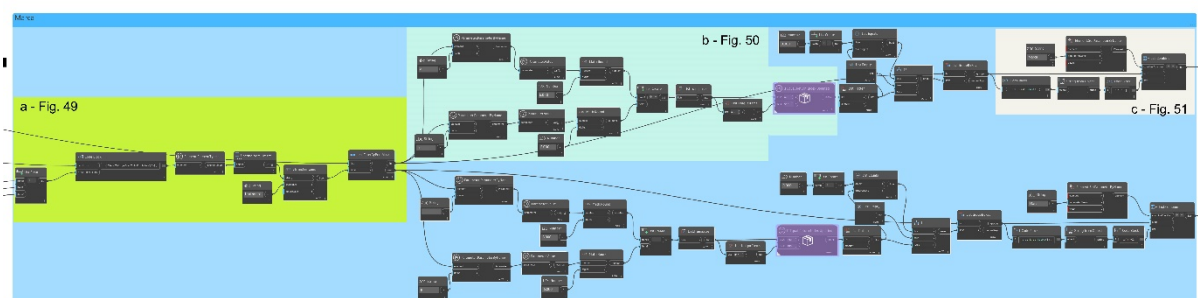


Fig. 48 - Grupo de blocos responsável por gerar e atribuir marcas às peças

Para tal, o programa:

- Separa as peças horizontais das verticais, visto que estas duas categorias vão ter marcas diferentes (Fig. 49, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 76);

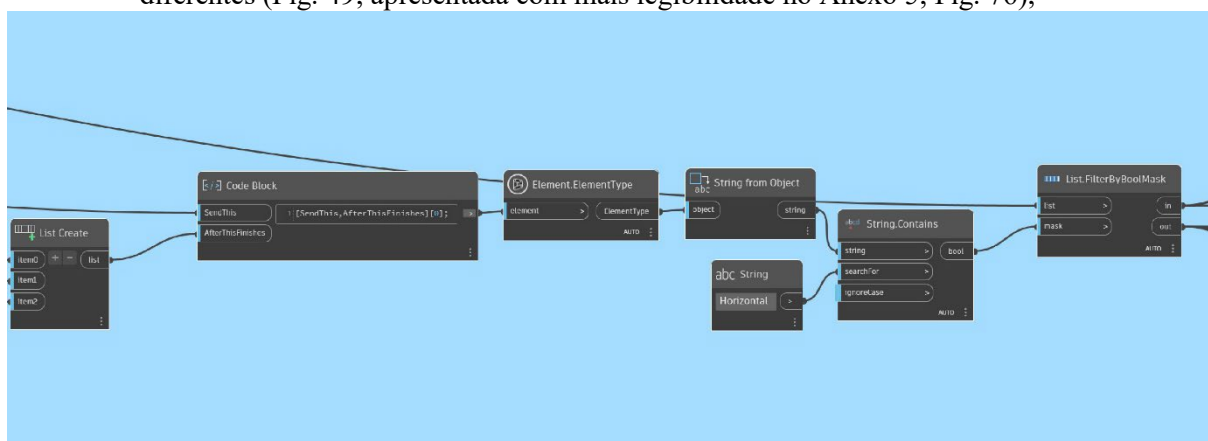


Fig. 49 - Separação de ladrilhos em verticais e horizontais

- Agrupar-as segundo o comprimento e a largura, para garantir que as peças com dimensões iguais têm o mesmo número na marca (Fig. 50, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 77);

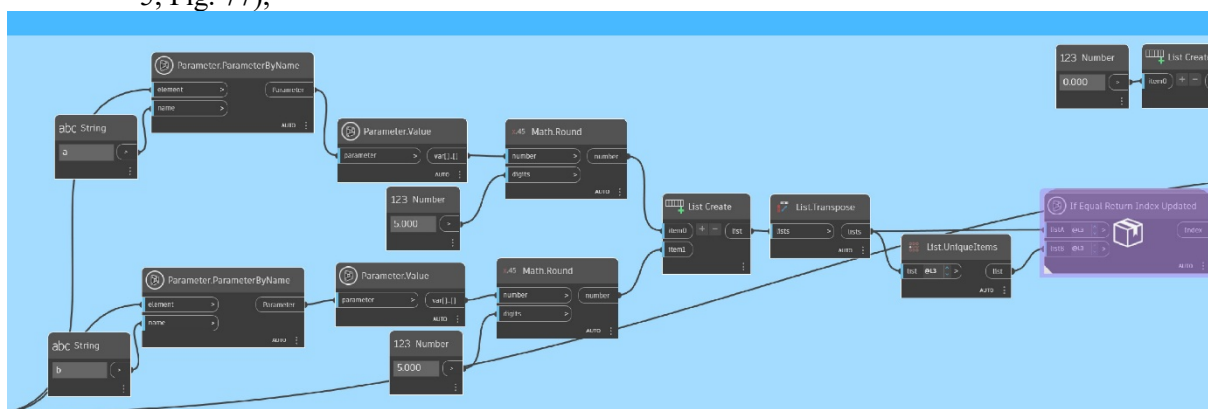


Fig. 50 - Agrupamento de ladrilhos segundo o comprimento e a largura

- c) Conta o número de grupos e gera a marca, que vai ser uma combinação de uma letra (“P” se for um ladrilho horizontal e “V” se for vertical) e o respetivo número (Fig. 51).

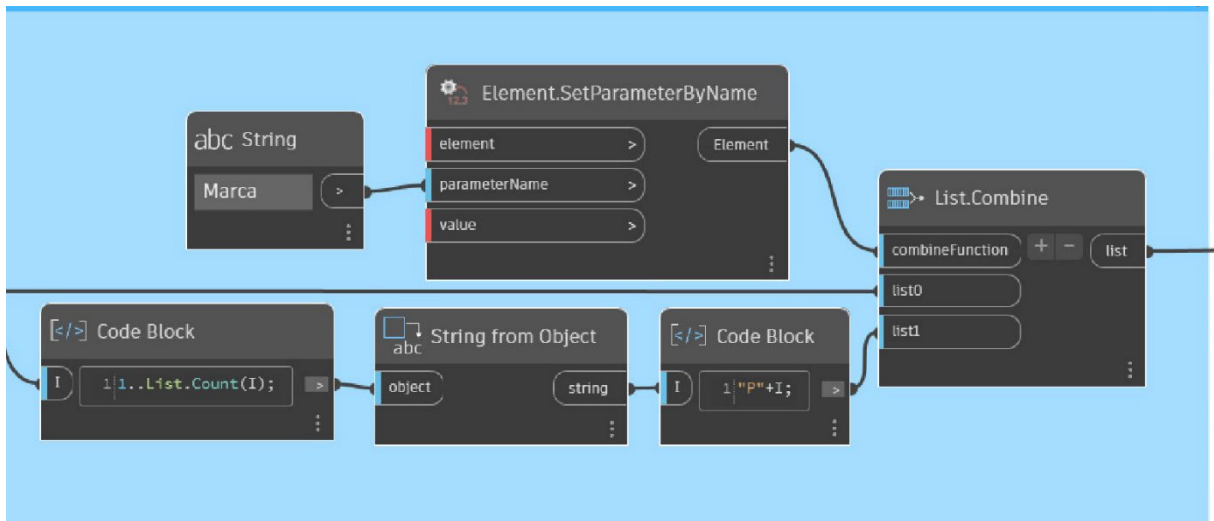


Fig. 51 - Atribuição de marca

Para que este grupo funcione é preciso um nó independente chamado “If equal return index updated” que compara uma primeira lista de itens com uma segunda lista contendo apenas os itens únicos da primeira e atribui números iguais a itens iguais;

5. **Exportar para Excel** – por último, o programa pega na informação apresentada na tabela de estereometria e exporta-a para Excel (Fig. 52, apresentada com mais legibilidade no Anexo 5, Fig. 78). É de notar que:

- Para que este grupo funcione, é preciso um bloco de código que vem de uma extensão para o Dynamo chamada BIMORPH NODES. Este bloco é o que permite extrair os dados da tabela de estereometria para que depois possam ser exportados para Excel;
- Para garantir que a tabela só é exportada depois de ser preenchida, é necessário utilizar um “truque” na lógica de operação do Dynamo, no qual a ligação entre a tabela e a extração de dados é feita ao passar pela criação de uma lista. O Dynamo não avança com este código até que a lista esteja completa, ou seja, até que tudo o que está a ser utilizado para criar a lista apareça. Quando esta lista tiver tudo o que lhe é pedido, é retirada dela a tabela inalterada, deixando tudo o resto para trás.

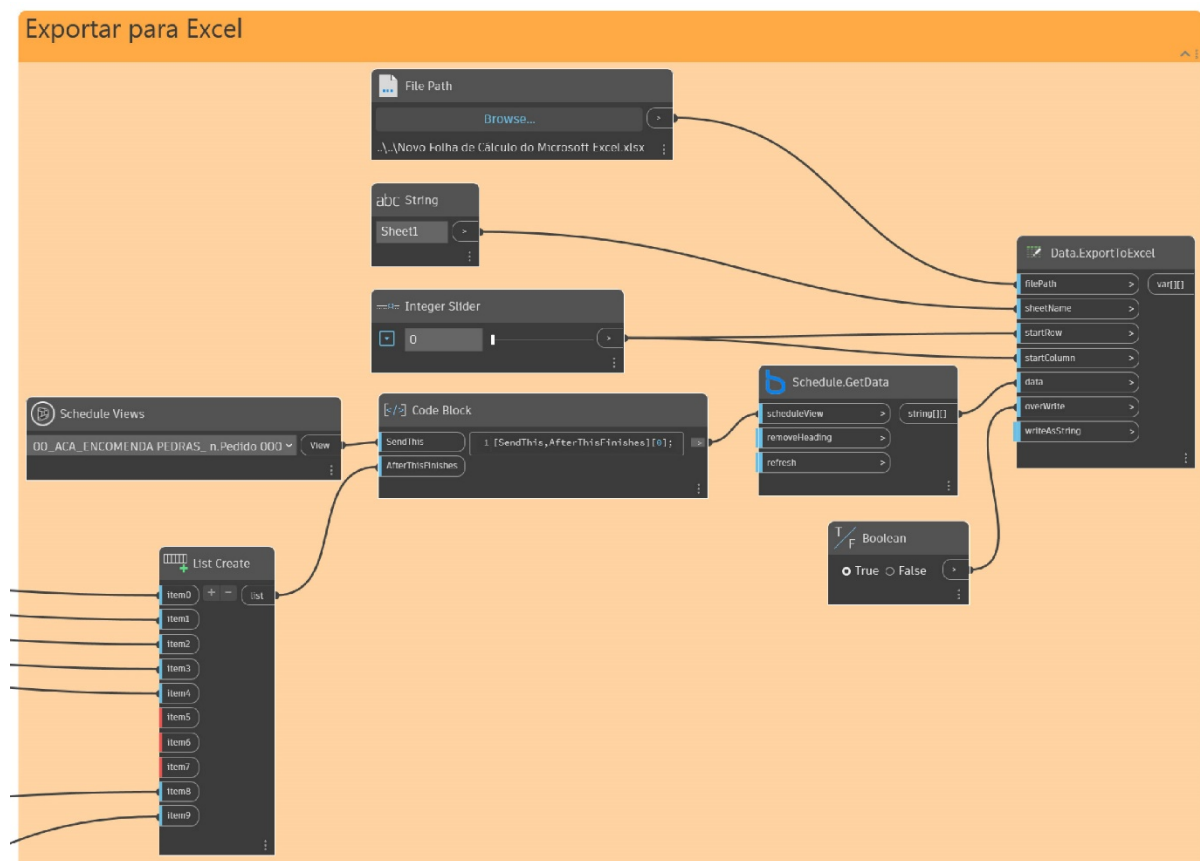


Fig. 52 - Grupo responsável pela exportação para Excel

6

RESULTADOS OBTIDOS COM O CÓDIGO DESENVOLVIDO

6.1. CÓDIGO CRIADO

Neste capítulo serão discutidos os resultados do que foi programado. Será discutido o que o programa é capaz de fazer e as melhorias que a versão final traz ao processo atual.

A partir do código criado, os 4 casos de estudo para analisar o processo atual foram novamente feitos de raiz para testar as capacidades da ferramenta. Em todos os casos, o programa corre sem mostrar mensagens de erro e exporta os dados para o ficheiro de Excel selecionado sem problema, com a exceção do caso de estudo 2, onde houve um erro ao determinar a sala associada a um dos ladrilhos. Apesar de uma análise detalhada não se conseguiu explicar a sua origem visto que o sistema é perfeitamente capaz de detetar todos os ladrilhos à volta e o ladrilho em questão não tem nada de diferente se comparado com os outros.

Outro pormenor importante é que não é preciso criar um ficheiro de Excel antes de mandar o programa correr, visto que, se o bloco de código responsável por aceder ao ficheiro não tiver um destino marcado, cria um ficheiro novo sozinho. A tabela é uma cópia exata da tabela de estereometria no Revit, sendo que pode ser preciso fazer uns ligeiros ajustes ao resultado, conforme visível na Fig. 53.

Dimensões	Peças	a	b	c	Ref.	Acab	Comentário	Identificaç	Topos	Acab	(descrição	ACA_Proj	ACA_Proj	ACA_Proj	ACA_Proj	Family	ACA_Fam	Área
nº da peça	Quant. (un)																	
P1	243	100	500	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	12.135 m²			
P2	5	100	487	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.243 m²			
P3	2	20	500	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.018 m²			
P4	1	20	84	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.001 m²			
P5	31	100	84	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.259 m²			
P6	1	100	496,75	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.039 m²			
P7	1	100	286,93	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.018 m²			
P8	1	37,12	77,11	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.001 m²			
P9	1	100	368,29	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.026 m²			
P10	1	76,28	158,47	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.006 m²			
P11	1	100	449,65	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.035 m²			
P12	1	100	239,83	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.014 m²			
P13	1	14,45	30,01	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.000 m²			
P14	1	100	321,19	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.022 m²			
P15	1	53,61	111,37	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.003 m²			
P16	1	100	402,55	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.030 m²			
P17	1	92,78	192,73	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.009 m²			
P18	1	100	483,92	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.038 m²			
P19	1	100	274,1	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.017 m²			
P20	1	30,94	64,28	60	P1			Q4 - MO1 -P1 -NA	1	Q4	P1	NA	MO1	Painel do s madeira d	0.001 m²			

Fig. 53 - Tabela gerada pelo código criado

Como se pode ver na Fig. 54, o novo procedimento é diferente do anterior. Agora, não é preciso perder tempo a ajustar os elementos à fronteira, nem é preciso preencher manualmente toda a tabela de estereometria.

Para chegar a este resultado, o processo é o seguinte:

- Carregar o ficheiro da tabela de estereometria, que insere os outros parâmetros no modelo do ladrilho;
- Modelar os ladrilhos usando os modelos base do Revit, tendo o cuidado de preencher logo o tipo de acabamento, material e comentários dos ladrilhos;
- Modelar os ambientes e preencher os parâmetros de local com a informação necessária;
- Abrir o programa no Dynamo e executar;
- Aceder à tabela de estereometria e verificar se está tudo corretamente preenchido, ou se há um ou outro elemento que tenha de ser corrigido.

6.2. MELHORIAS CONSEGUIDAS

As melhorias conseguidas no processo atual incidem inteiramente na modelação e extração de informação.

Através do programa, o registo e extração automáticos de informação passam a estar garantidos, de que resulta ser possível utilizar os modelos de ladrilhos base do Revit, que conseguem moldar-se automaticamente à fronteira.

A modelação de elementos em cruz também se tornou muito mais fácil, uma vez que eliminou os ajustes manuais da fronteira, que era o seu grande problema.

Tabela 13 - Tempo gasto nas novas modelações

	Caso de estudo 1 Biblioteca Ladrilhos ortogonais	Caso de estudo 2 Biblioteca Ladrilhos em cruz	Caso de estudo 3 Biblioteca Ladrilhos ortogonais, tamanho alternativo	Caso de estudo 4 Quarto Ladrilhos ortogonais
Situação nova	20min	20min	5min	10min
Situação original	1h30min	6h	40min	1h45min

Como se pode ver na tabela 12, ao utilizar o programa, o tempo gasto na modelação desce consideravelmente. Agora, nenhum dos casos de estudo demora mais do que 20 minutos a concluir, o que é um aumento considerável de produtividade.

Outra melhoria gerada pelo programa é a própria automatização da extração de informação do modelo. Ao automatizar a aquisição de quase toda a informação reduz-se a possibilidade de ocorrerem erros devido a falhas humanas, o que leva a menos problemas e paragens durante a montagem dos elementos de revestimento.

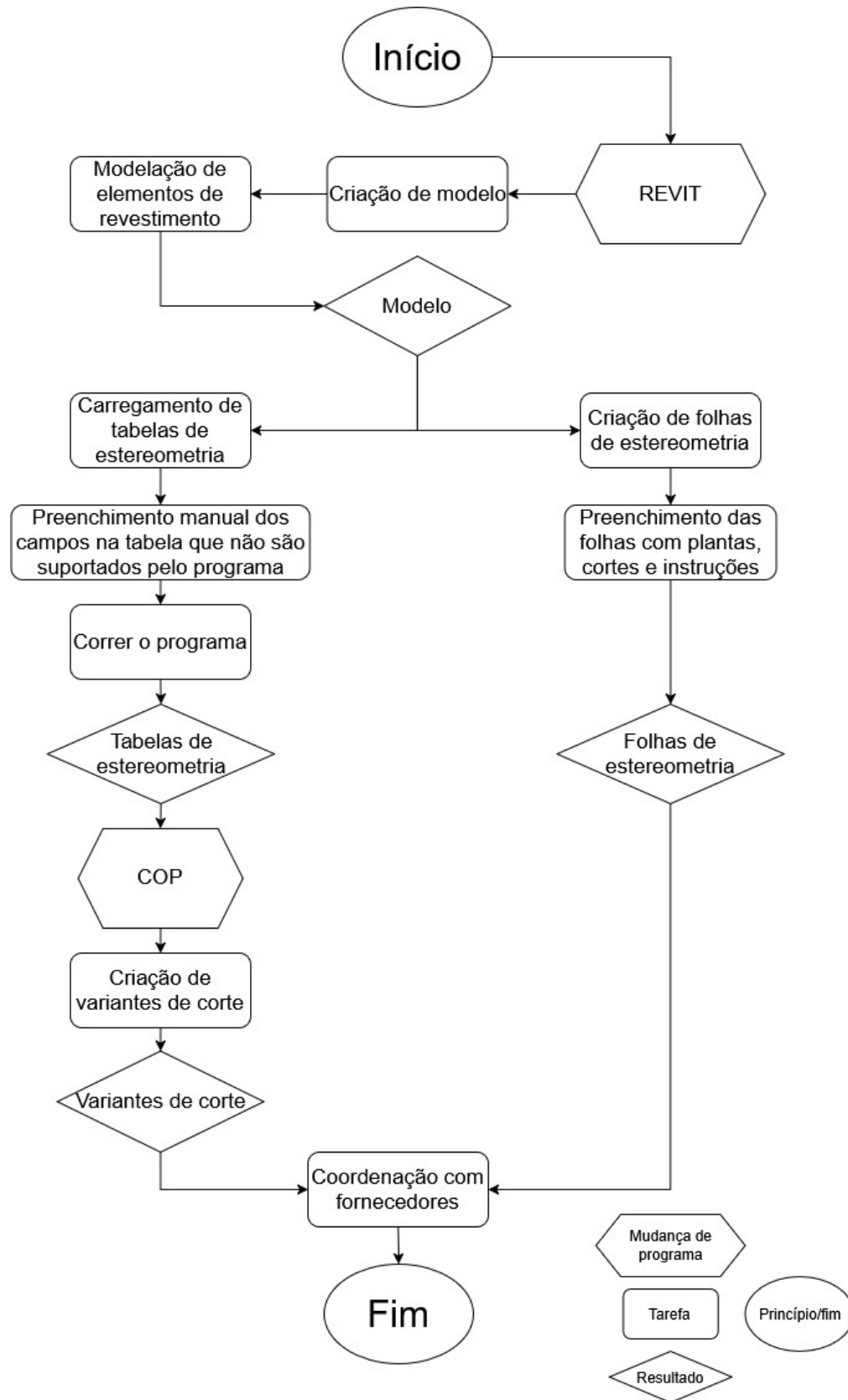


Fig. 54 - Esquema do procedimento novo (legenda no canto inferior direito)

Na mesma vertente que a redução de erros, temos também um aumento da qualidade da informação extraída do modelo. Esta melhoria na qualidade da informação leva a uma melhoria no resultado final do edifício, visto que, ao evitar problemas durante a obra e manter o processo a fluir de princípio a fim, há menos falhas no produto final.

Com a melhoria da extração de informação, temos também uma redução nos custos extra devidos à redução da quantidade de erros que só são detetados na obra e à redução do tempo que é gasto a corrigir essas falhas.

Por último, a função de exportar automaticamente para Excel permite não só obter a tabela ao mesmo tempo que se preenche os dados, mas também obter um resultado com a formatação mais próxima do final e mais facilmente editável, pelo que a extensão “DiRootsOne” para o Revit deixa de ser necessária para esta tarefa, visto que a sua função era exportar as tabelas para Excel.

7

CONCLUSÕES

7.1. TAREFAS EXECUTADAS

O problema de corte de peças tem duas vertentes importantes: os gastos económicos da empresa e o desperdício de recursos naturais. Ao otimizar os planos de corte gerados, as empresas gastam menos dinheiro na compra de peças e consomem menos recursos naturais.

Neste trabalho foi efetuada uma análise do estado da arte, no que diz respeito ao problema de corte de peças. A partir daqui, foi explorado o processo utilizado pela Empresa para criar planos de corte de peças de revestimento em obra, sendo também analisados os *softwares* e as metodologias empregues no mesmo.

Foi analisado o processo de modelação e de obtenção de informação sobre as peças em Revit através da criação de 4 casos de estudo, medindo o tempo gasto na atividade e estudando a metodologia aplicada e as funções deste *software* utilizadas. Também foi analisada a ferramenta utilizada para gerar planos de corte (COP), para a qual foi criada uma lista de 36 variantes de configuração que foram aplicadas aos 4 exemplos criados anteriormente. Foi dado foco ao estudo da eficiência no uso do material, de acordo com os planos gerados e às tentativas de melhoria dos resultados, segundo listas de parâmetros pré-definidos.

Depois da análise das ferramentas e dos processos atuais investigou-se a possibilidade de melhorar tanto o processo de gerar planos de corte, como o processo de modelação e obtenção de informação.

Para o primeiro, foi efetuada uma comparação entre os programas já pesquisados e o COP, numa tentativa de procurar por uma alternativa ao mesmo.

Para o segundo, foi criado um programa em Dynamo, uma ferramenta base do Revit que permite programar com blocos de código e escrever *scripts* em Python. Este programa tem como objetivo automatizar o apontamento e a extração da informação sobre os ladrilhos no modelo, de forma a que se possa substituir uma das ferramentas de modelação, que gasta muito tempo, reduzir a possibilidade de erro humano e eliminar a necessidade do programa de interface entre o Revit e o COP.

7.2. RESULTADOS PRODUZIDOS

A análise do estado da arte mostra que, apesar de haver vários estudos feitos e ferramentas desenvolvidas para outras indústrias que possuem problemas equivalentes, o setor AEC não tem acompanhado as iniciativas desenvolvidas noutras áreas da atividade neste domínio. Um outro fator que afeta a construção em particular é o facto de o problema de corte de peças ser particularmente mais complexo

do que em outras indústrias, tendo não só a questão de como melhor aproveitar as peças a cortar, mas também o desafio prévio de preencher a superfície a revestir com peças.

No que diz respeito à rotina atual, esta consiste em modelar os elementos em Revit e extrair a informação acerca dos mesmos (dimensões, local de colocação, entre outros) e utilizar a informação para gerar os planos de corte.

Da análise desta rotina conclui-se que:

- O processo de modelação e de extração de informação tinha o problema de exigir a escolha entre rapidez de execução (apenas para modelos de ladrilhos pré-definidos no Revit) e ter a informação necessária acerca das peças reais (modelos de ladrilhos usados pela Empresa). Como a Empresa tem que introduzir esta informação para cada caso particular, a modelação e a atribuição de informação aos ladrilhos pode demorar várias horas a ser concluída. Das duas partes da rotina, esta é a que causa mais atrasos e está mais sujeita a erro humano;
- O processo de obter um plano de corte, apesar de não ser perfeito, produz resultados bastante satisfatórios. O processo de gerar planos é eficiente, consistente (no sentido de que, ao correr o programa com as mesmas definições, os resultados vão ser sempre os mesmos) e rápido (o COP demora pouco tempo a correr). A única falha no programa é a incapacidade de registar o formato real das peças, sendo que as mesmas são todas consideradas como quadriláteros, com base nas dimensões que são providenciadas pelos resultados da modelação e extração de informação;

Na investigação de possibilidades de melhoria, chegou-se aos seguintes resultados:

- A comparação entre o COP e outras alternativas possíveis mostrou vários programas com potencial, com um destaque para um programa chamado “Next Nesting Software X”, da empresa Nesting Technologies SRL que aparenta muitas semelhanças com o COP;
- O programa agora desenvolvido para melhorar o apontamento e extração de informação deu resultados bastante positivos, passando o tempo de modelação de até várias horas para 20 minutos (ver tabela 12) ou menos e havendo uma grande redução na possibilidade de erro humano devido à automatização da extração de informação de quase todos os parâmetros dos ladrilhos.

Assim, o processo completo, princípio a fim, das atividades da Empresa para preparar os materiais necessários na montagem de peças de revestimento em obra era, conforme apresentado em 3.7:

1. Modelar os elementos em Revit;
2. Importar e preencher manualmente a tabela de estereometria;
3. Criar e preencher as folhas de estereometria;
4. Exportar a tabela de estereometria para Excel através do DiRootsOne;
5. Importar a tabela para o COP e gerar o plano de corte;
6. Enviar o plano, a tabela e as folhas para estaleiro.

Tendo agora passado a ser:

1. Modelar os elementos em Revit;
2. Importar, preencher automaticamente e exportar para Excel a tabela de estereometria;
3. Criar e preencher as folhas de estereometria;
4. Importar a tabela para o COP e gerar o plano de corte;
5. Enviar o plano, a tabela e as folhas para estaleiro.

7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os desenvolvimentos futuros deste trabalho incidem em duas vertentes: automatizar ainda mais as partes já analisadas do trabalho e explorar as partes que ainda não o foram.

De seguida, são listados e explicados todos os pontos relacionados com este trabalho a partir dos quais se pode iniciar outro estudo e possível novo projeto académico:

- **Analisar em maior profundidade o “Optcut free”, o “Next Nesting Software X” e o “Perfect CUT” e ver se são realmente interessantes como alternativa ao COP** – Como foi mencionado anteriormente, durante a pesquisa por uma alternativa ao COP foram encontrados estes programas que apresentam potencial, um dos quais ainda em versão BETA. Seria interessante fazer, dentro de algum tempo, uma comparação entre cada um destes e o COP para determinar se servem verdadeiramente como alternativa;
- **Estudar a hipótese de programar uma função de planos de corte diretamente no Revit** – Outra ideia que foi mencionada ao longo deste trabalho é a de programar uma ferramenta capaz de criar planos de corte e que opere diretamente no modelo no Revit, por forma a eliminar a necessidade de outros programas. Isto seria interessante, visto que se deve sempre procurar minimizar a quantidade de programas utilizados para trabalhos;
- **Analisar a possibilidade de ligar a encomendas e logística** – A terceira parte do problema de corte de peças está relacionado com as questões de logística, como a encomenda e transporte de peças. Neste trabalho, estas questões não foram estudadas de todo devido ao facto de haver um maior foco nas questões de modelação e de extração de informação e na geração do plano de corte;
- **Ligação a máquinas de corte automático** – Esta ideia advém das tentativas de automatizar o apontamento e extração de informação do modelo. Outra parte a melhorar no corte de ladrilhos é no próprio corte em si, que, devido a ser controlado por pessoas, está sujeito a erro humano. Portanto, tal como neste trabalho, se fosse possível automatizar este processo, poderia resultar numa melhoria da eficiência de tempo e recursos da Empresa;
- **Codificação da aplicação especializada prevista no capítulo 4** – Para este trabalho foi desenvolvida uma lista de funcionalidades e objetivos a serem cumpridos por uma aplicação especializada que trataria de tudo exceto a modelação e extração de informação. Criar esta ferramenta pode servir para um trabalho completo de um colega futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MECALUX - **O que é a supply chain ou cadeia de fornecimento? Definição e diferenças com a logística** [Em linha]. 8 Abr. 2020. [Consult. 11 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.mecalux.pt/blog/o-que-e-supply-chain>>.
- [2] ORACLE - **Como funcionam as cadeias de suprimentos de mercados** [Em linha]. 21 Ag. 2023. [Consult. 11 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.oracle.com/br/retail/grocery-supply-chain/>>.
- [3] RGIS - **Por que razão a cadeia de fornecimento ou supply chain é tão importante?** [Em linha]. Data desconhecida [Consult. 12 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.rgis.pt/perspectivas-da-industria/por-que-razao-a-cadeia-de-fornecimento-ou-supply-chain-e-tao-importante/>>.
- [4] JOLODA - **Como otimizar a sua cadeia de abastecimento e logística de ponta a ponta** [Em linha]. 3 Jan. 2023. [Consult. 12 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.joloda.com/pt/noticias/como-otimizar-a-sua-cadeia-de-abastecimento-e-logistica-de-ponta-a-ponta/>>.
- [5] EMOTO, Marcelo - **Cadeia de suprimentos automotiva: veja as principais práticas e tendências!** [Em linha]. 7 Jul. 2021. [Consult. 12 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.infor.com/pt-br/blog/supply-chain-automotive>>.
- [6] BLADE - **Blade PPF Software - LEGEND®** [Em linha]. 2025. [Consult. 8 Jun. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://legendppf.com/blade-ppf-software/>>.
- [7] SAP - **Soluções de TI para fabricantes, fornecedores e concessionários da indústria automóvel** [Em linha]. 2025. [Consult. 8 Jun. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.sap.com/portugal/industries/automotive.html>>.
- [8] GRUPO ACA - **O mundo inspira-nos - grupo ACA** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://grupo-aca.com/grupo>>.
- [9] DIÁRIO DE NOTÍCIAS - **Portugal esgota esta segunda-feira recursos naturais disponíveis para 2025** [Em linha]. 4 Maio 2025. [Consult. 9 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.dn.pt/sociedade/portugal-esgota-na-segunda-feira-recursos-naturais-disponiveis-para-2025>>.
- [10] CADSOLID WOOD - **Software para desenho e fabrico de madeira e mobiliário** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://wood.cadsolid.pt/software-madeira-mobiliario>>.
- [11] CADNEA - **SWOOD - CAD/CAM para projetos em madeira** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://cadnea.com/swood/>>.
- [12] R.O SRL - **Perfect cut** [Em linha]. 2025. [Consult. 21 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://perfectcut.glass/>>.
- [13] MOLDE.ME - **Molde.me - ferramenta de modelagem e encaixe automático** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://molde.me/>>.
- [14] LECTRA - **We pioneer. you lead.** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.lectra.com/en>>.

- [15] RZ CAD TÊXTIL - **Aproveitamento de tecido- maximização de resultados de sua confecção RZ CAD têxtil – CAD para confecção, modelagem de roupas, encaixe, plotters** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.rzcadtextil.com.br/aproveitamento-de-tecido/>>.
- [16] MAB FORTUNA - **Software CAD para modelagem e encaixe - MAB Fortuna sistemas CAD** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://mabfortuna.com.br/produto/software-cad-para-modelagem-e-encaixe/>>.
- [17] CORELDRAW - **Software de design gráfico profissional** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.coreldraw.com/br/>>.
- [18] ADOBE - **Software de imagens vetoriais** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.adobe.com/pt/products/illustrator.html>>.
- [19] AUTODESK - **Transferir o AutoCAD | Versão experimental gratuita do AutoCAD** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.autodesk.com/pt/products/autocad/free-trial>>.
- [20] AUDIOKIT - **Programas para gerenciar e otimizar planos de cortes para MDF // Guia Completo** [Em linha]. 2025. [Consult. 15 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://audiokit.com.br/artigos/programas-para-gerenciamento-de-planos-de-cortes.html>>.
- [21] PROTECMEDIA - **Ad-on-Line** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://protecmmedia.com/es/productos/ad-on-line>>.
- [22] ADOBE - **Download e versão de teste grátis do InDesign** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.adobe.com/pt/products/indesign/free-trial-download.html>>.
- [23] QUARK - **QuarkXPress | desktop publishing software & page layout software** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.quark.com/products/quarkxpress>>.
- [24] AUTODESK - **Folhas** [Em linha]. 2024. [Consult. 19 Mar. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB/?guid=GUID-3F663CC2-A83E-409F-94F8-ACE7737AE59C>>.
- [25] AUTODESK - **Sobre os identificadores** [Em linha]. 2024. [Consult. 19 Mar. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB/?guid=GUID-7B146150-CC34-456E-9AE1-7D736FA9DE36>>.
- [26] AUTODESK - **Sobre paredes cortina** [Em linha]. 2024. [Consult. 19 Mar. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB/?guid=GUID-BBC16AF1-88C1-4B2E-A23A-917C3F427E97>>.
- [27] AUTODESK - **Sobre os telhados** [Em linha]. 2025. [Consult. 14 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB/?guid=GUID-6B7015B8-A758-4768-A384-DDBB95814D2C>>.
- [28] AUTODESK - **Sobre as famílias** [Em linha]. 2024. [Consult. 19 Mar. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB/?guid=GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29>>.
- [29] CHENG, Min-Yuan ; FANG, Yi-Cho ; WANG, Chun-Yao - **Auto-tuning SOS algorithm for two-dimensional orthogonal cutting optimization**. KSCE Journal of Civil Engineering [Em linha]. ISSN

- 1976-3808. 25:10 (Jun. 2021) 3605-3619. [Consult. 20 Mar. 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.1007/s12205-021-0522-y>>.
- [30] CUTLIST OPTIMIZER - **CutList optimizer** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.cutlistoptimizer.com/>>.
- [31] OPTCUT FREE - **OptCut Free- Software optimization of linear and rectangular cut** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:https://migg.it/optcutfree/index_en.html>.
- [32] CUTLIST EVOLUTION - **Cutlist optimizer V2 / cutlist evolution** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://cutlistevo.com/>>.
- [33] CUTLIST PLUS - **CutList plus cutting diagram software: sheet layout optimizer for plywood panels and lumber** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://cutlistplus.com/>>.
- [34] CUTMASTER2D - **Cutmaster2D - cutting optimizer** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://cutmaster2d.com/>>.
- [35] OPTIMALON SOFTWARE - **Cutting Optimization Solutions for your business** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.optimalon.com/>>.
- [36] NESTING TECHNOLOGIES - **Next Nesting Software X - sheet, panel, glass, wood, metal nesting optimization** [Em linha]. 2025. [Consult. 13 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.nesting-technologies.com/next-nesting-software-x-en.html>>.
- [37] NESTING TECHNOLOGIES - **Compare cutting software for glass, wood, sheet, stock, linear bar, pipe, 2D, 1D, cutting optimization** [Em linha]. 2025. [Consult. 18 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:https://www.nesting-technologies.com/compare_cutting_software-en.html>.
- [38] SOURCEFORGE - **Cut micro** [Em linha]. 2025. [Consult. 20 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://sourceforge.net/projects/ctmc/>>.
- [39] TALI SOFTWARE - **SketchCut - apps on google play** [Em linha]. 2025. [Consult. 20 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fortali.mapcut>>.
- [40] OPTIMIK - **Description of the program** [Em linha]. 2025. [Consult. 20 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.optimik.sk/popis.html>>.
- [41] MAXCUT - **Optimize your cutting plans with maxcut cutlist optimizer** [Em linha]. 2025. [Consult. 20 Maio 2025]. Disponível em WWW: <URL:<https://maxcutsoftware.com/>>.
- [42] FRAUNHOFER - **AUTOPANELSIZER 4.0: FASTER CUTTING PLANS FOR RECTANGULAR PARTS - INNOVATIONS REPORT** [EM LINHA]. 2025. [CONSULT. 23 MAIO 2025]. DISPONÍVEL EM WWW: <URL:[HTTPS://WWW.INNOVATIONS-REPORT.COM/SCIENCE-TECH/INFORMATION-TECHNOLOGY/AUTOPANELSIZER-4-0-NOW-GENERATES-BETTER-CUTTING-PLANS-IN-LESS-TIME/](https://www.innovations-report.com/science-tech/information-technology/autopanelSizer-4-0-now-generates-better-cutting-plans-in-less-time/)>.
- [43] FRAUNHOFER - **CUTPLANNER – PRODUCTION PLANNING - FRAUNHOFER SCAI** [EM LINHA]. 2025. [CONSULT. 23 MAIO 2025]. DISPONÍVEL EM WWW: <URL:[HTTPS://WWW.SCAI.FRAUNHOFER.DE/EN/BUSINESS-RESEARCH-AREAS/OPTIMIZATION/PRODUCTS/CUTPLANNER.HTML](https://www.scai.fraunhofer.de/en/business-research-areas/optimization/products/cutplanner.html)>.

- [44] FRAUNHOFFER - **AUTONESTER-T – AUTOMATIC MARKER MAKING - FRAUNHOFER SCAI** [EM LINHA]. 2025. [CONSULT. 23 MAIO 2025]. DISPONÍVEL EM WWW: <URL:[HTTPS://WWW.SCAI.FRAUNHOFER.DE/EN/BUSINESS-RESEARCH-AREAS/OPTIMIZATION/PRODUCTS/AUTONESTER-T.HTML](https://www.scai.fraunhofer.de/en/business-research-areas/optimization/products/autonester-t.html)>.
- [45] FRAUNHOFFER - **AUTOCOMPACTOR – COMPACTING TWO-DIMENSIONAL NESTS - FRAUNHOFER SCAI** [EM LINHA]. 2025. [CONSULT. 23 MAIO 2025]. DISPONÍVEL EM WWW: <URL:[HTTPS://WWW.SCAIFRAUNHOFER.DE/EN/BUSINESS-RESEARCH-AREAS/OPTIMIZATION/PRODUCTS/AUTOCOMPACTOR.HTML](https://www.scaifraunhofer.de/en/business-research-areas/optimization/products/autocompactor.html)>.
- [46] CAMPOS, GABRIEL - **GITHUB - DYNAMO-CURTAIN-PANEL-PARAMETER-REGISTRY** [EM LINHA]. 4 JUN. 2025. [CONSULT. 4 JUN. 2025]. DISPONÍVEL EM WWW: <URL:[HTTPS://GITHUB.COM/GABRIEL-HOLLYFIELD/DYNAMO-CURTAIN-PANEL-PARAMETER-REGISTRY](https://github.com/GABRIEL-HOLLYFIELD/DYNAMO-CURTAIN-PANEL-PARAMETER-REGISTRY)>.
- [47] CARDOSO, Vitor [et al.] - **Integração de algoritmos de otimização de corte em ambientes de modelação BIM**. In **5º congresso português de building information modelling** [Em linha]. Braga : UMinho Editora, 2024. [Consult. 10 Jun. 2025]. p. 249-261. Disponível em WWW: <URL:<https://ebooks.uminho.pt/index.php/uminho/catalog/view/142/202/3248>>. ISBN 978-989-9074-36-1.

ANEXO 1. DETALHE DOS DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS FIGURAS 23, 24 E 25

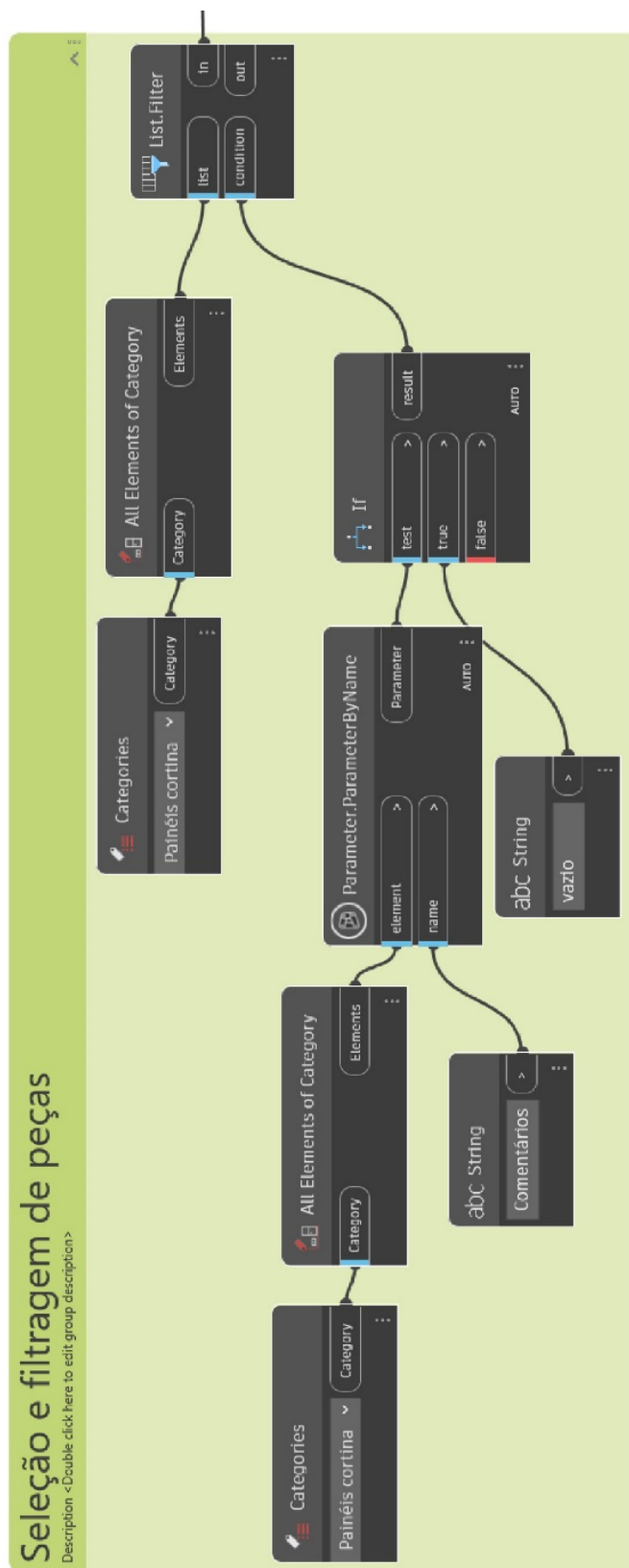


Fig. 55 - detalhe da Fig. 23, página 26

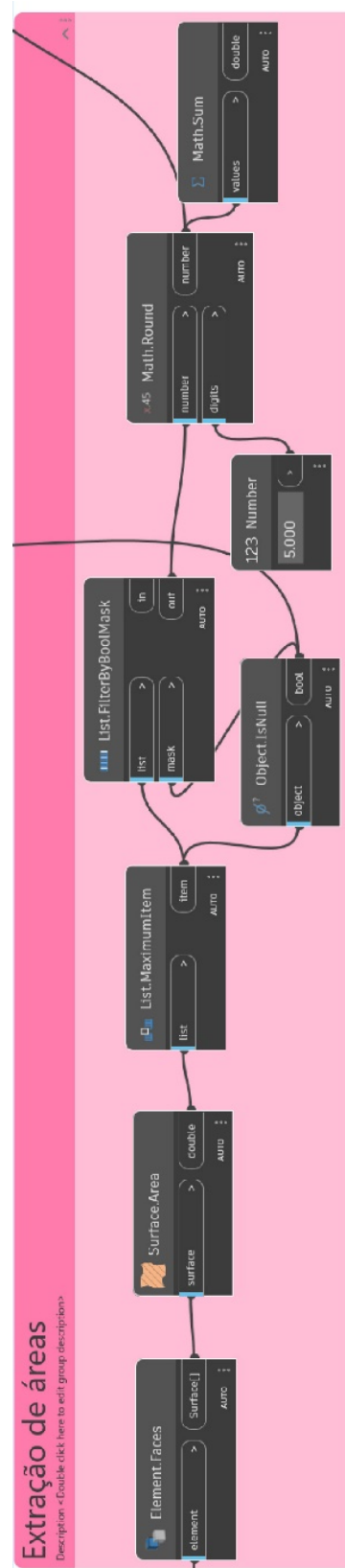


Fig. 56 - detalhe da Fig. 24, página 27



Fig. 57 - detalhe da Fig. 25, página 27

ANEXO 2. DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROGRAMA DE CORTE (COP)

Conforme mencionado em 3.3., o programa divide-se em 4 painéis (dois para introdução de dados e dois para visualização de resultados) e em 6 janelas de configuração (três para configurar a simulação e três para configurar os materiais das peças e demais componentes).

Nos dois painéis de introdução de dados temos:

- Um painel para introduzir informação acerca dos vários tipos de ladrilho base que existam no projeto (de que material é composto, as dimensões comerciais, quantos ladrilhos “estão em armazém”, etc.).

Para além das definições mencionadas, o painel tem outras funções relacionadas com a gestão de dados, como:

- Acrescentar ou remover linhas da tabela;
 - Exportar e importar dados a partir de um ficheiro Excel;
 - Imprimir o que está registado;
 - Consultar o histórico;
 - Organizar as linhas preenchidas;
- Um painel para introduzir informação acerca dos ladrilhos que vão ser necessários no projeto (Fig. 58), sendo a informação obtida através da tabela criada no Revit que extrai essa informação do modelo.

Este painel tem um conjunto de ferramentas semelhantes ao painel anterior. As únicas diferenças são uma opção para limpar tudo o que está registado e uma janela para associar componentes extra às peças.

Comprimento	Largura	Quantidade	Material	Rotação	Etiqueta
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito vermelho	☒	P1
600	600	1	granito		

Comprimento	Largura	Quantidade	Material	Etiqueta	Preço
600	600	75	granito vermelho	2D	7,92
450	450	174	ceramico vidrado	2D	2,43

Fig. 58 - Os dois painéis de introdução de dados, conforme são apresentados no COP

Nos dois painéis de visualização de resultados temos:

- Um painel que permite analisar o plano de corte, painel por painel, podendo ver exatamente que peças parciais se extraem das peças completas (Fig. 59). Neste painel há algumas opções para alterar a visualização dos resultados, como o eixo de coordenadas que os cortes seguem, as medidas e etiquetas das peças.

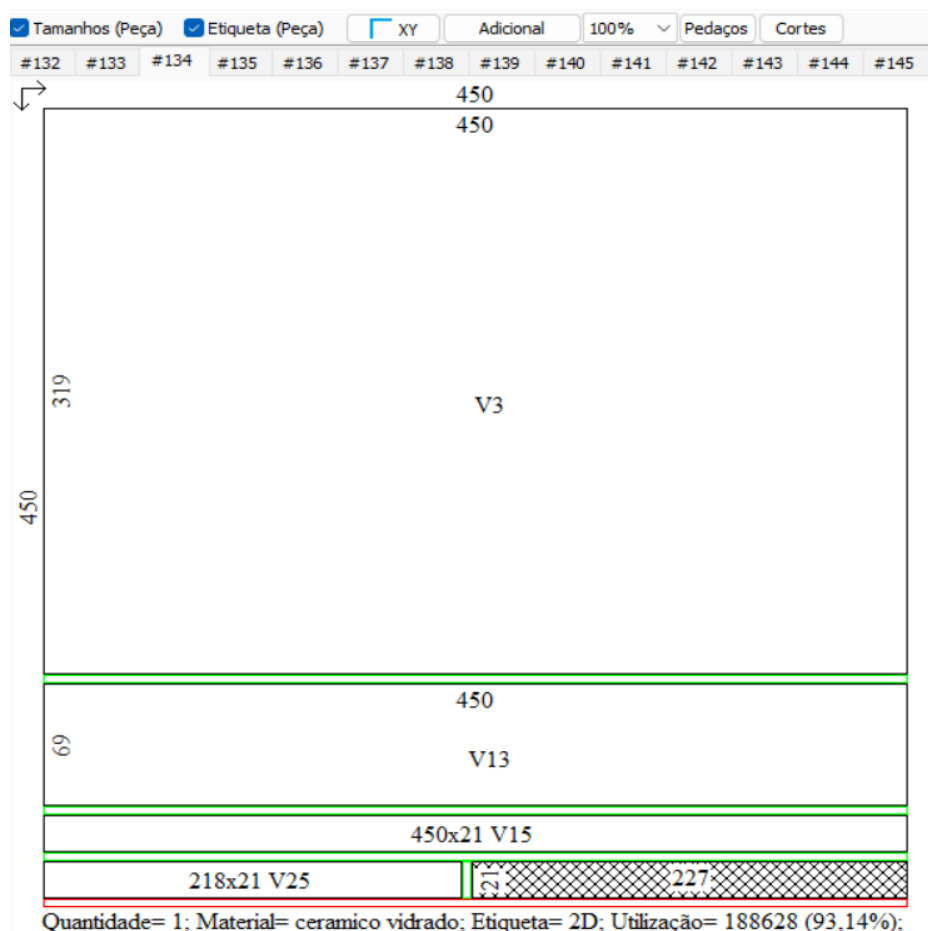


Fig. 59 - Exemplo de um dos painéis que possibilitou mais cortes, conforme representado no plano

- Um segundo painel que permite consultar várias tabelas contendo estatísticas acerca da simulação (Fig. 60), incluindo:
 - Peças utilizadas;
 - Folhas utilizadas;
 - Cortes;
 - Resíduos reutilizados;
 - Lixo descartado;
 - Estatísticas para cada tipo de material;
 - Resumo (tabela com informação sobre as peças cortadas extraídas de cada peça base, essencialmente uma versão escrita do que se vê no painel mencionado anteriormente);
 - Outras estatísticas (registos de áreas de ladrilhos gastas e desperdiçadas, da percentagem da área total utilizada, do custo total, etc.).

- “Tamanho mínimo de rutura”: Estabelece um mínimo obrigatório nas dimensões das peças parciais e dos restos. Abaixo deste limite, a peça corre o risco de rachar ou estilhaçar em volta da linha do corte;
- “Tolerância para bandas de borda”: As bandas de borda são uma ferramenta que permite registar o tipo de acabamento a aplicar na berma de uma peça (quer parcial quer completa), quanto custa fazer esse acabamento e a espessura da ferramenta de corte. Permite controlar a tolerância para a espessura das bandas de borda para a coordenação e o registo dos acabamentos a efetuar nas bermas das peças;
- “Tipo de resíduos”: controla a distribuição dos resíduos pela peça completa. Este parâmetro apresenta duas opções: “Área máxima” e “Na borda da folha”, correspondentes a duas lógicas de organização dos cortes:
 - “Área máxima”: juntar todos os resíduos o máximo possível;
 - “Na borda da folha”: colocar todos os resíduos ao mínimo de distância da berma possível.
- “Tipo de otimização”: o tipo de algoritmo que é aplicado para gerir o processo de organizar as peças parciais dentro da área das peças base. Dita a lógica pela qual o programa irá efetuar o processo de encaixar as peças parciais dentro do espaço de uma peça completa. Dentro desta definição temos três opções possíveis:
 - “De ponta a ponta”: começa a partir de um canto da peça real e vai encaixando peças parciais conforme houver espaço para tal;
 - “Seguir o contorno das peças”: encaixa as peças parciais de forma a que, por exemplo, as peças parciais 2, 3 e 4 sejam encaixadas ao longo da fronteira da peça parcial 1;
 - “Múltiplos estágios (De ponta a ponta)” - os cortes são feitos em múltiplas fases, seguindo a lógica de colocação de peças da opção de “De ponta a ponta”.
 - Dentro das definições avançadas podemos configurar o número de fases, a primeira direção de corte no processo e algumas opções extra que alteram ligeiramente a lógica de corrida do programa.

Dentro da janela de configuração de cortes 1D temos as opções para configurar cortes lineares (Fig. 62).

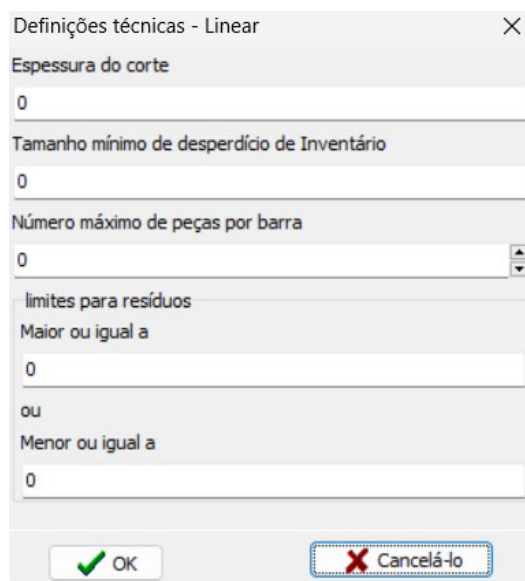
A imagem mostra uma janela de software intitulada "Definições técnicas - Linear" com um botão de fechar (X) no canto superior direito. A janela contém vários campos de entrada e opções. Os campos "Espessura do corte", "Tamanho mínimo de desperdício de Inventário" e "Número máximo de peças por barra" (com setas de rolagem) todos exibem o valor "0". Abaixo, há uma seção "limites para resíduos" com duas opções: "Maior ou igual a" e "Menor ou igual a", ambas com campos de entrada exibindo "0". No rodapé, há dois botões: "OK" com um ícone de checkmark verde e "Cancelá-lo" com um ícone de X vermelho.

Fig. 62 - Janela de configuração de cortes 1D

Estes campos estão relacionados com:

- “Espessura de corte”: a espessura de material que é automaticamente destruída pela ferramenta de corte. Funciona da mesma forma que o campo de nome igual na janela de opções para cortes 2D, vista atrás;
- “Tamanho mínimo de desperdício de inventário”: o tamanho mínimo que as medidas das peças sobrantes têm de ter para serem guardadas para uso futuro, também igual à opção que aparece no menu de corte 2D;
- “Número máximo de peças por barra”: o número máximo de peças que podem ser extraídas de uma dada barra;
- “Limites para resíduos”: o limite inferior (“Maior ou igual a”) e/ou superior (“Menor ou igual a”) dos restos das barras.

Embora importante no âmbito de outras atividades da Engenharia Civil, esta função (corte 1D) não está no âmbito deste trabalho.

Dentro da janela de configuração de definições gerais existem algumas opções acerca de questões técnicas (Fig. 63), como:

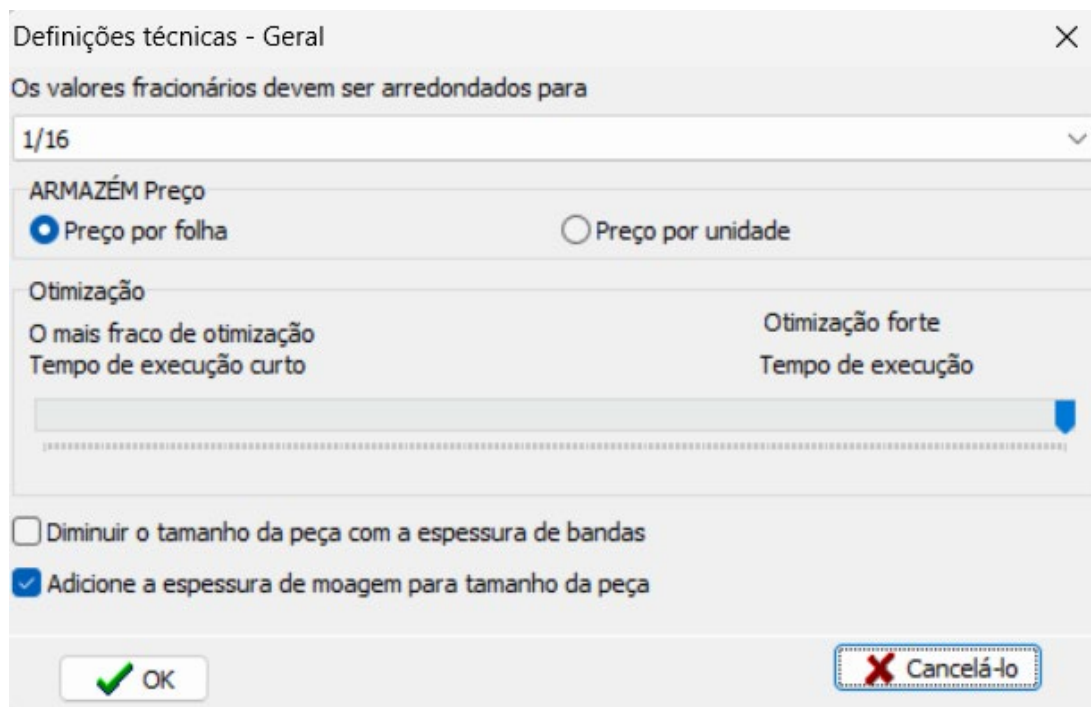


Fig. 63 - Janela de configuração de definições gerais

- “Os valores fracionários devem ser arredondados para”: o arredondamento de valores fracionários. O programa não “usa” unidades de forma concreta, usando os valores que são introduzidos como estão (por exemplo, se for tudo introduzido em milímetros, os resultados vão ser em milímetros), mas o sistema permite a introdução de valores fracionários. Este campo configura o arredondamento destas frações;
- “ARMAZÉM Preço”: que tipo de custo das peças é tido em conta (“preço por folha” ou “preço por unidade”);

- “Otimização”: o nível de otimização da simulação (e, inversamente, qual a rapidez com que pretendemos que a simulação decorra). O controlo deslizante do nível de otimização da simulação controla a complexidade da simulação, por oposição ao tempo de processamento. Como o aumento de tempo é de apenas alguns segundos, todas as simulações vão decorrer com esta definição alterada para o máximo de otimização possível.
- As opções: “Diminuir o tamanho da peça com as espessuras das bandas” e “adicione a espessura de moagem para tamanho da peça”.
 - A opção de “diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas” permite definir se a espessura da banda de borda é contada dentro das medidas da peça ou fora das medidas.
 - A opção de “adicione a espessura de moagem para tamanho da peça” está relacionada com outra opção dentro do painel de introdução de dados sobre as peças parciais. Como o parâmetro da “espessura de moagem” não tem aplicação nos casos em estudo, este também não foi estudado;

Nas três janelas de configuração dos materiais e componentes encontramos uma para gerir os “tipos de materiais”, outra para gerir os “tipos de bandas borda” em cada material e a terceira para gerir “componentes extra”.

- Na janela “tipos de materiais” temos uma tabela com duas colunas, uma para o nome do material e outra para a cor/padrão do mesmo (Fig. 64).

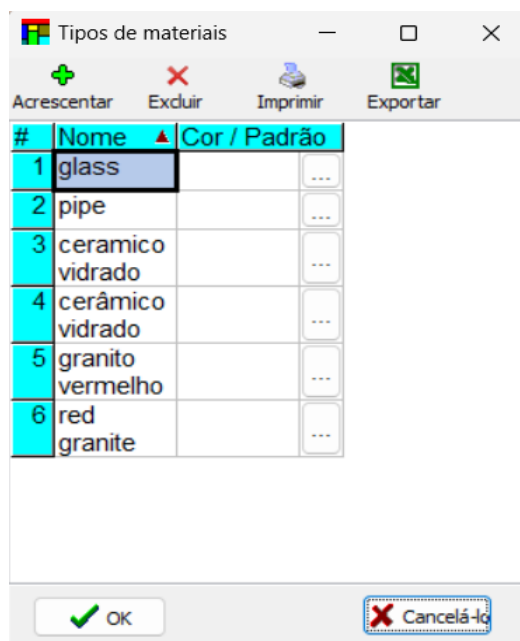


Fig. 64 - Janela de configuração para gerir os tipos de materiais

- Na janela de configuração para gestão dos “tipos de banda borda” temos outra tabela com 4 colunas: nome, espessura, preço e cor/padrão das bandas (Fig. 65). Conforme já referido, as bandas de borda são uma ferramenta que permite registar o tipo de acabamento a aplicar na berma de uma peça (quer parcial, quer completa), quanto é que custa fazer esse acabamento e a espessura da ferramenta de corte.

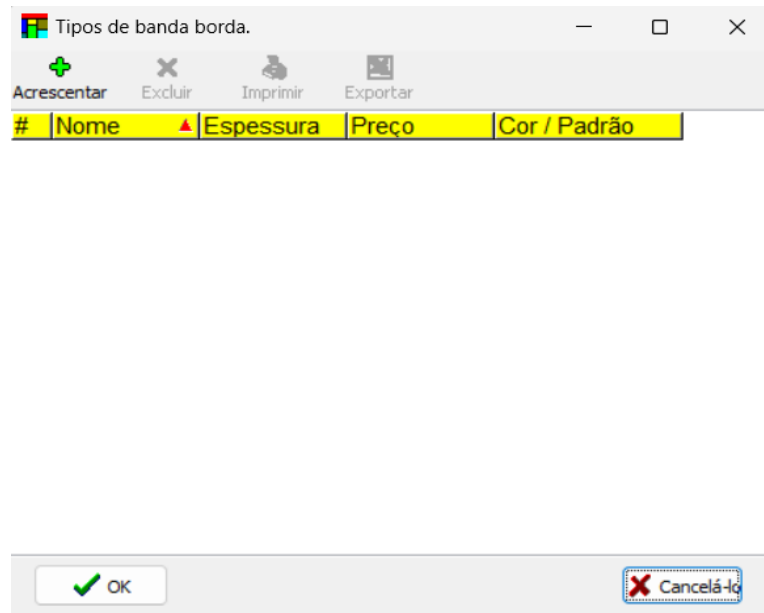


Fig. 65 - Janela de configuração para gerir os tipos de bandas borda

- Por último, dentro da janela de configuração para gerir componentes extra temos uma nova tabela com 5 colunas: Nome, Unidades de medida, Preço, Quantidade e Etiqueta destes componentes extra (Fig. 66).

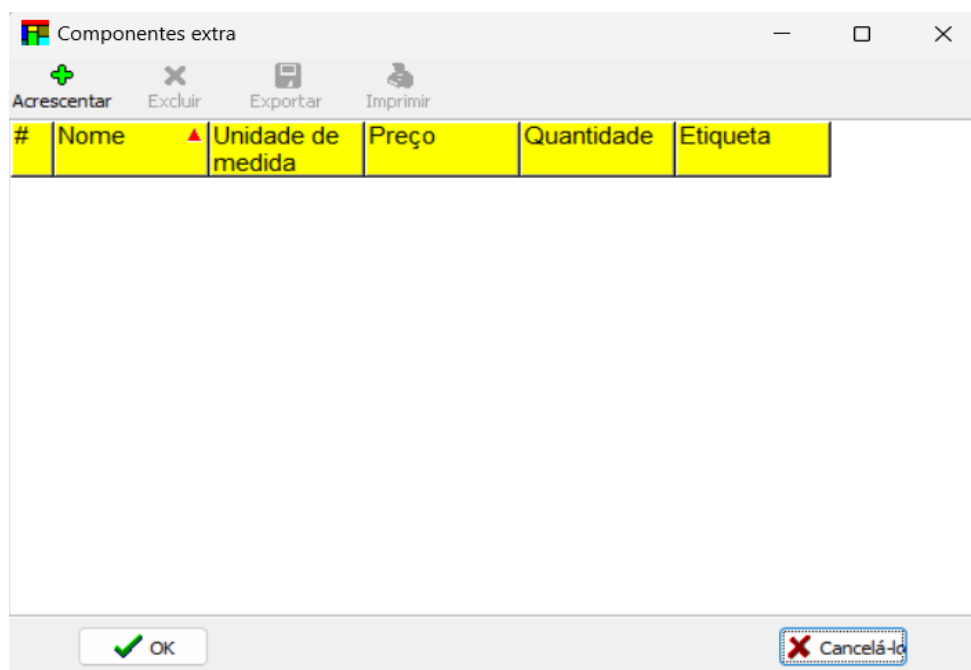


Fig. 66 - Janela de configuração para gerir componentes extra

ANEXO 3. LISTAGEM DAS DIFERENTES VARIANTES USADAS

A.3.1. VARIANTES DE TESTE

Variante 1-

- otimização maximizada

Variante 2-

- otimização maximizada
- definir e aplicar algumas bandas de borda

Variante 3-

- otimização maximizada
- definir e aplicar algumas bandas de borda e ativar a opção de diminuir o tamanho da peça com a espessura das bandas

Variante 4-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm

Variante 5-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 25 mm

Variante 6-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 50 mm

Variante 7-

- otimização maximizada
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 20 mm

Variante 8-

- otimização maximizada
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 60 mm

Variante 9-

- otimização maximizada
- comprimento de corte máximo: 1 m

Variante 10-

- otimização maximizada
- comprimento de corte máximo: 0,5 m

Variante 11-

- otimização maximizada
- tamanho mínimo de rotura: 10 mm

Variante 12-

- otimização maximizada
- tamanho mínimo de rotura: 20 mm

Variante 13-

- otimização maximizada
- definir e aplicar algumas bandas de borda e definir a tolerância para bandas de borda a 5 mm

Variante 14-

- otimização maximizada
- definir e aplicar algumas bandas de borda e definir a tolerância para bandas de borda a 10 mm

Variante 15-

- otimização maximizada
- definir e aplicar algumas bandas de borda, definir a tolerância para bandas de borda a 10 mm e seleccionar a opção de aparar todas as arestas no início

Variante 16-

- otimização maximizada
- Tipo de resíduos: na borda da folha

Variante 17-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: seguir o contorno das peças

Variante 18-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 5

Variante 19-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10

Variante 20-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – 1ª direção de corte: vertical

Variante 21-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – listras de uma peça

Variante 22-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – corte primeiro as tiras de nível superior

Variante 23-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – pedaços da mesma altura, na última fase

Variante 24-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – pedaços da mesma altura, na última fase – tolerância para a altura: 5 mm

Variante 25-

- otimização maximizada
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – pedaços da mesma altura, na última fase – tolerância para a altura: 10 mm

Variante 26-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de rotura: 10 mm

Variante 27-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 3 mm
- tamanho mínimo de rotura: 10 mm

Variante 28-

- otimização maximizada
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 20 mm
- Tipo de resíduos: na borda da folha

Variante 29-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 25 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 20 mm

A.3.2. VARIANTES DE OTIMIZAÇÃO

Variante 30-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm

Variante 31-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10

Variante 32-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm

- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 – 1ª direção de corte: vertical

Variante 33-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm
- Tipo de otimização: múltiplos estágios – nº de estágios: 10 - pedaços da mesma altura, na última fase

Variante 34-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm
- Tipo de otimização: seguir o contorno das peças

Variante 35-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm
- Tipo de resíduos: na borda da folha

Variante 36-

- otimização maximizada
- espessura de corte: 5 mm
- tamanho mínimo de desperdício de inventário: 30 mm
- Tipo de resíduos: na borda da folha
- Tipo de otimização: seguir o contorno das peças

ANEXO 4. DETALHE DOS BLOCOS DO FLUXOGRAMA APRESENTADO NO CAPÍTULO 4

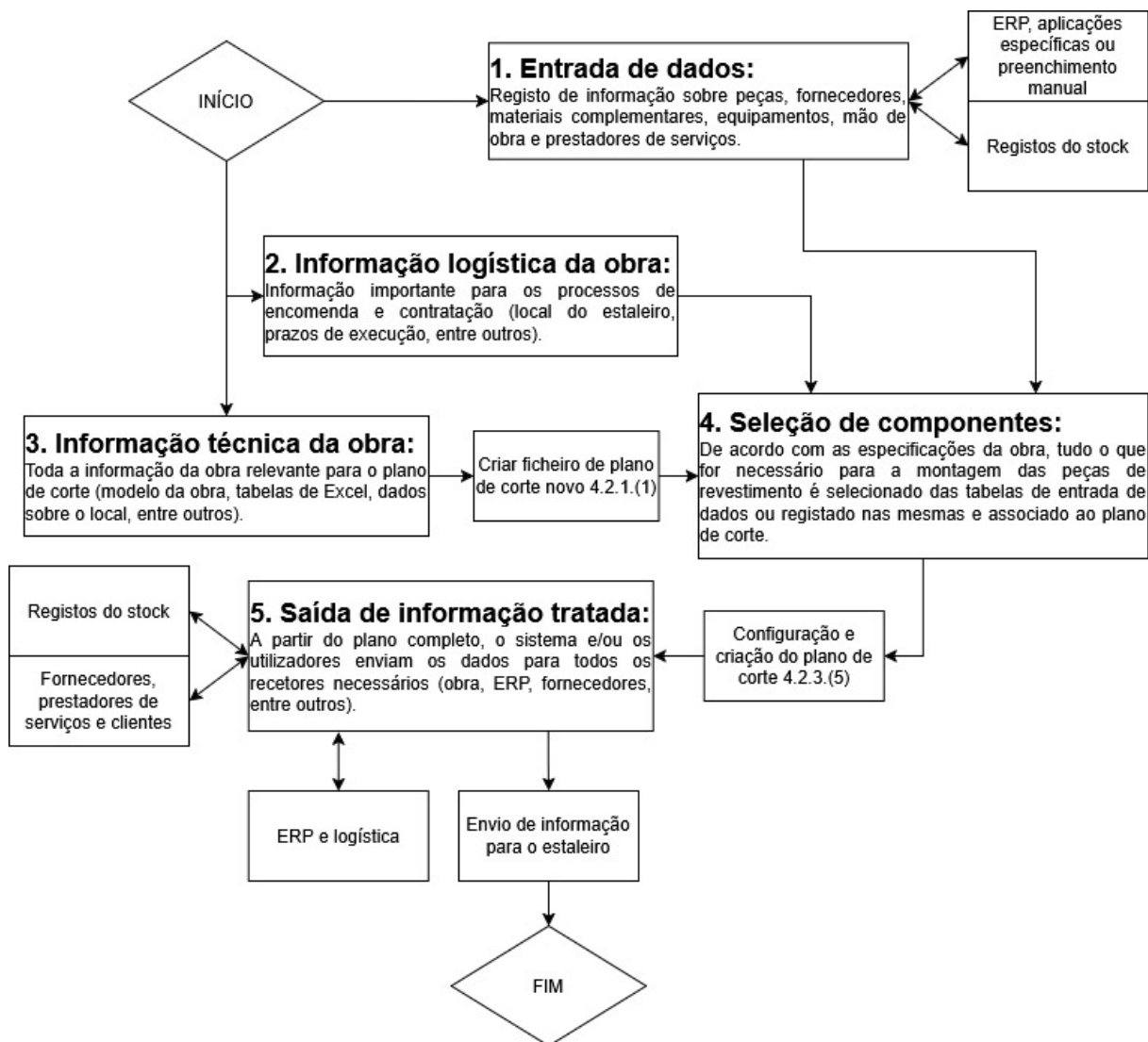


Fig. 67 - Fluxograma representativo das grandes áreas funcionais que o programa deve prever (repetição para enquadramento)

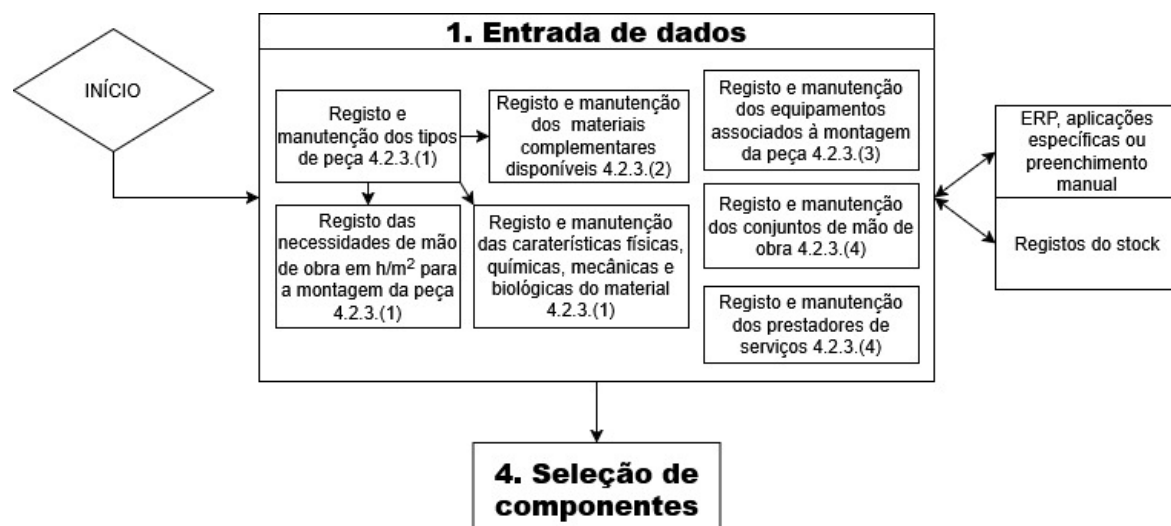


Fig. 68 - Detalhe do bloco 1: Entrada de dados

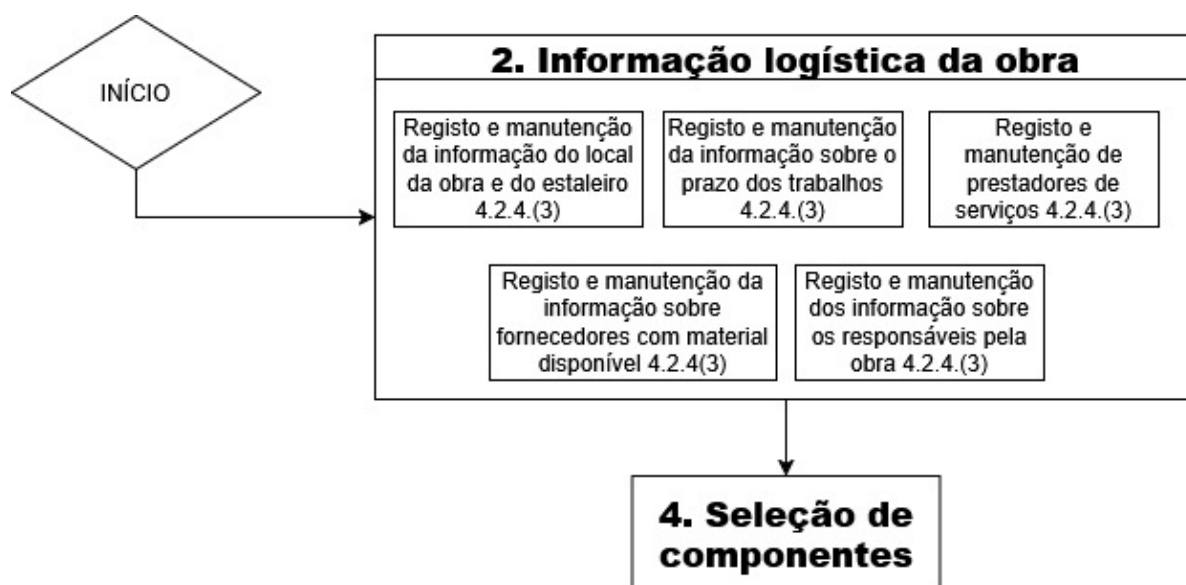


Fig. 69 - Detalhe do bloco 2: Informação logística da obra

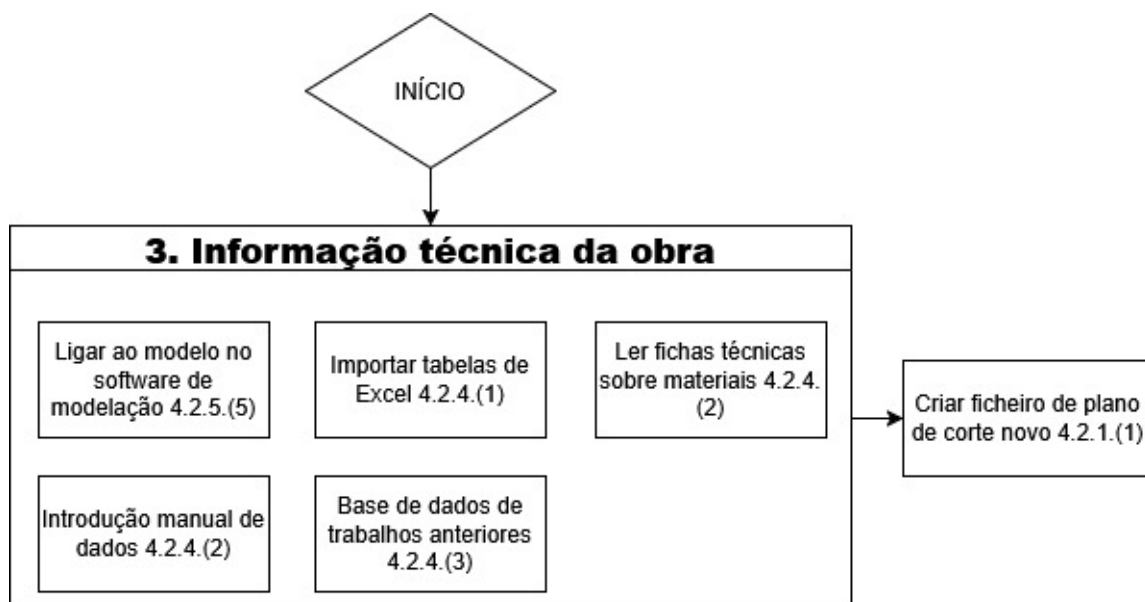


Fig. 70 - Detalhe do bloco 3: Informação técnica da obra

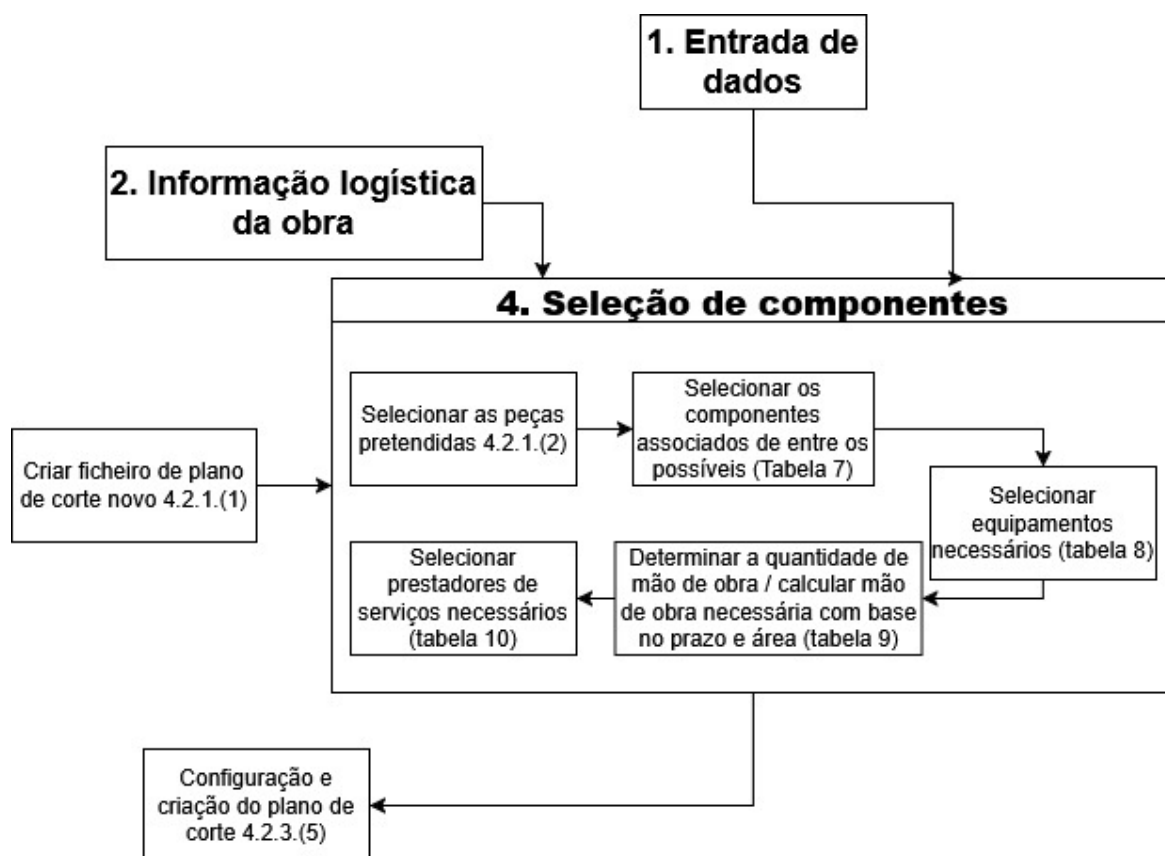


Fig. 71 - Detalhe do bloco 4: Seleção de componentes

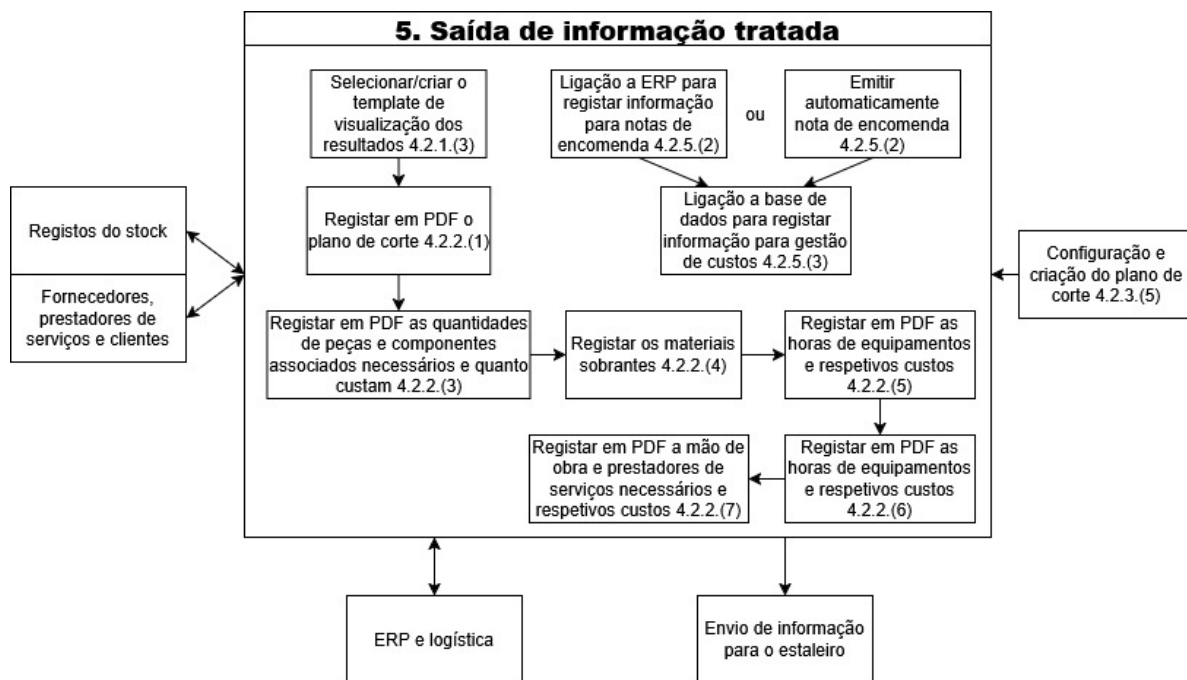


Fig. 72 - Detalhe do bloco 5: Saída de informação tratada

ANEXO 5. DETALHE DOS DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS FIGURAS 40, 46, 47, 49, 50 E 52

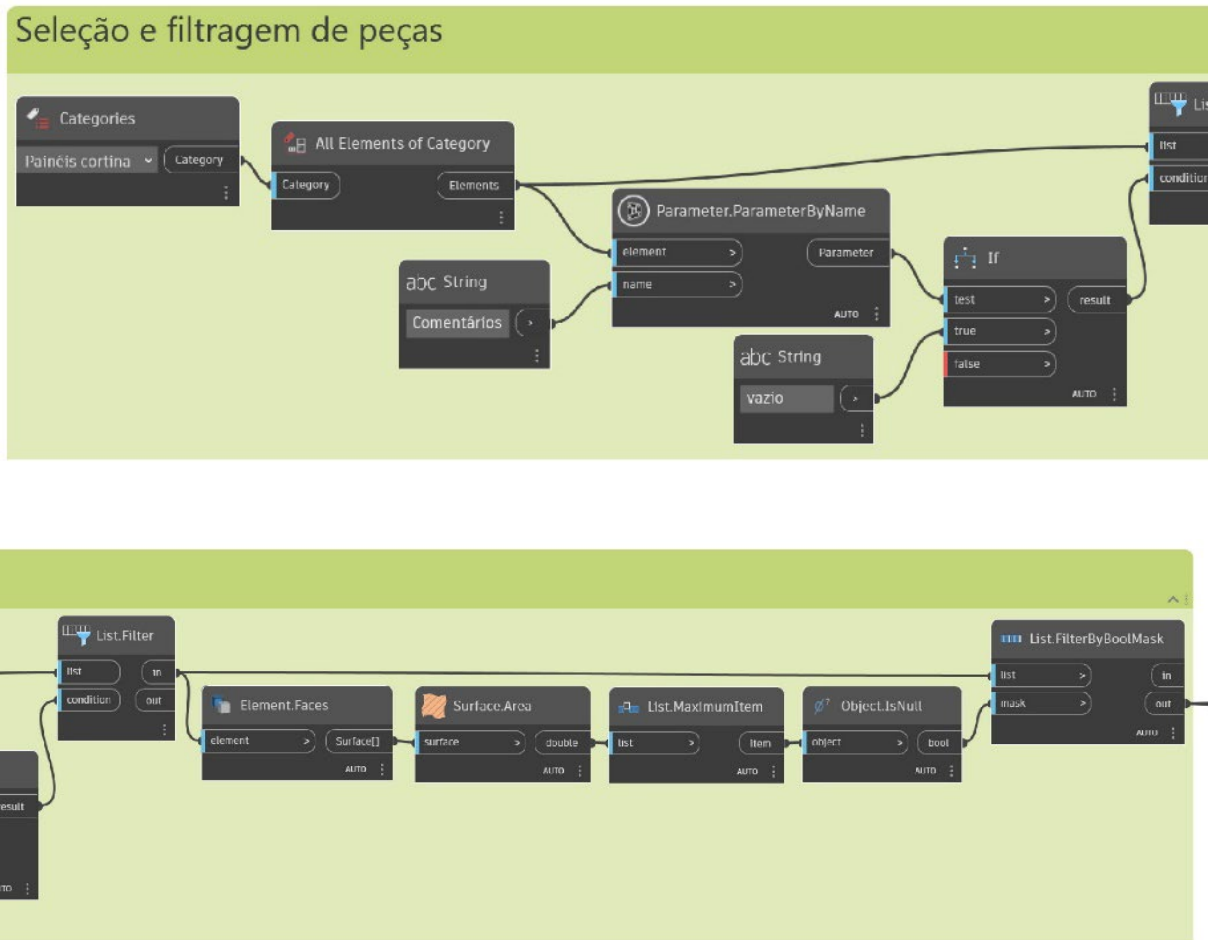


Fig. 73 - detalhe da Fig. 40, página 58

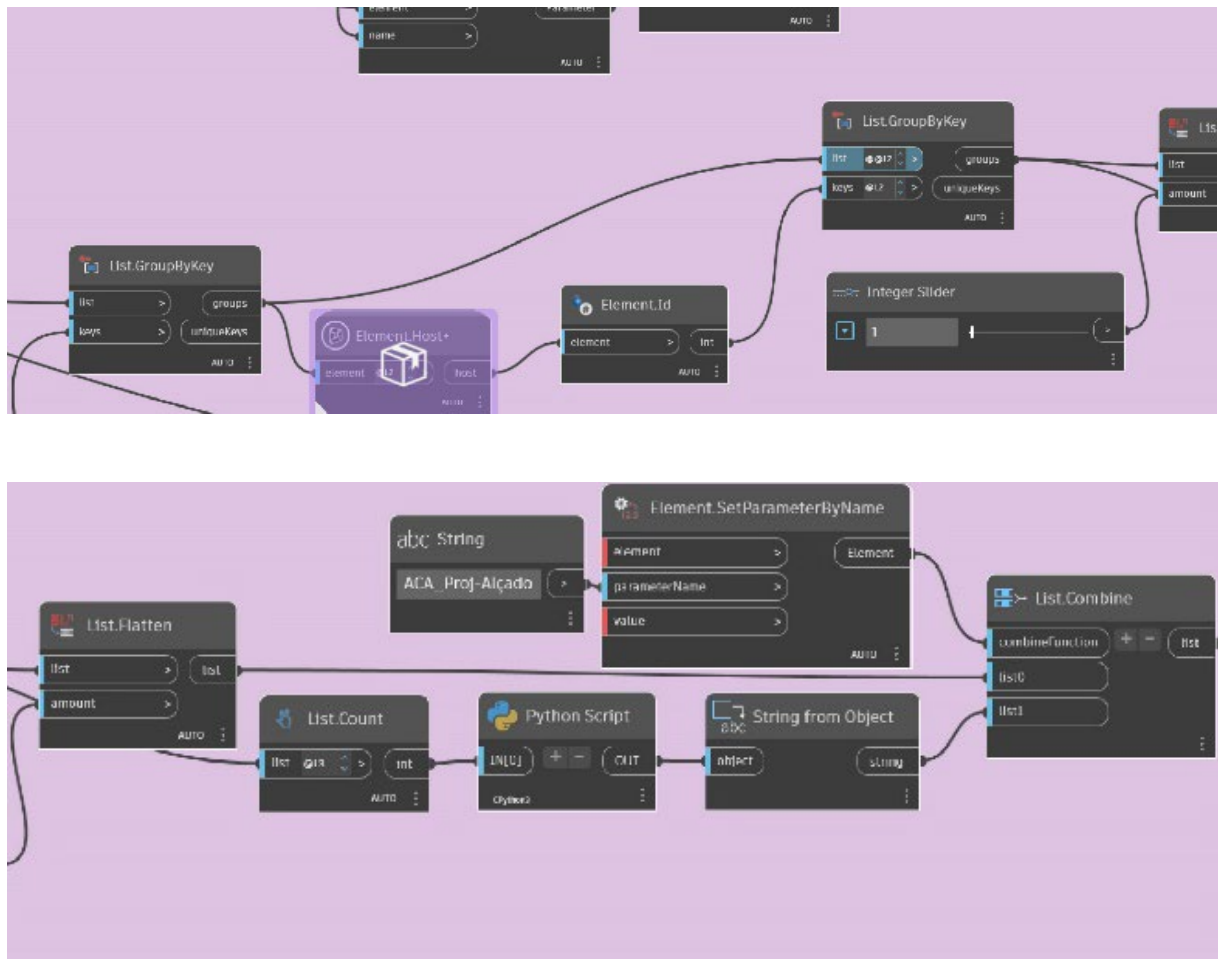


Fig. 74 - detalhe da Fig. 46, página 64

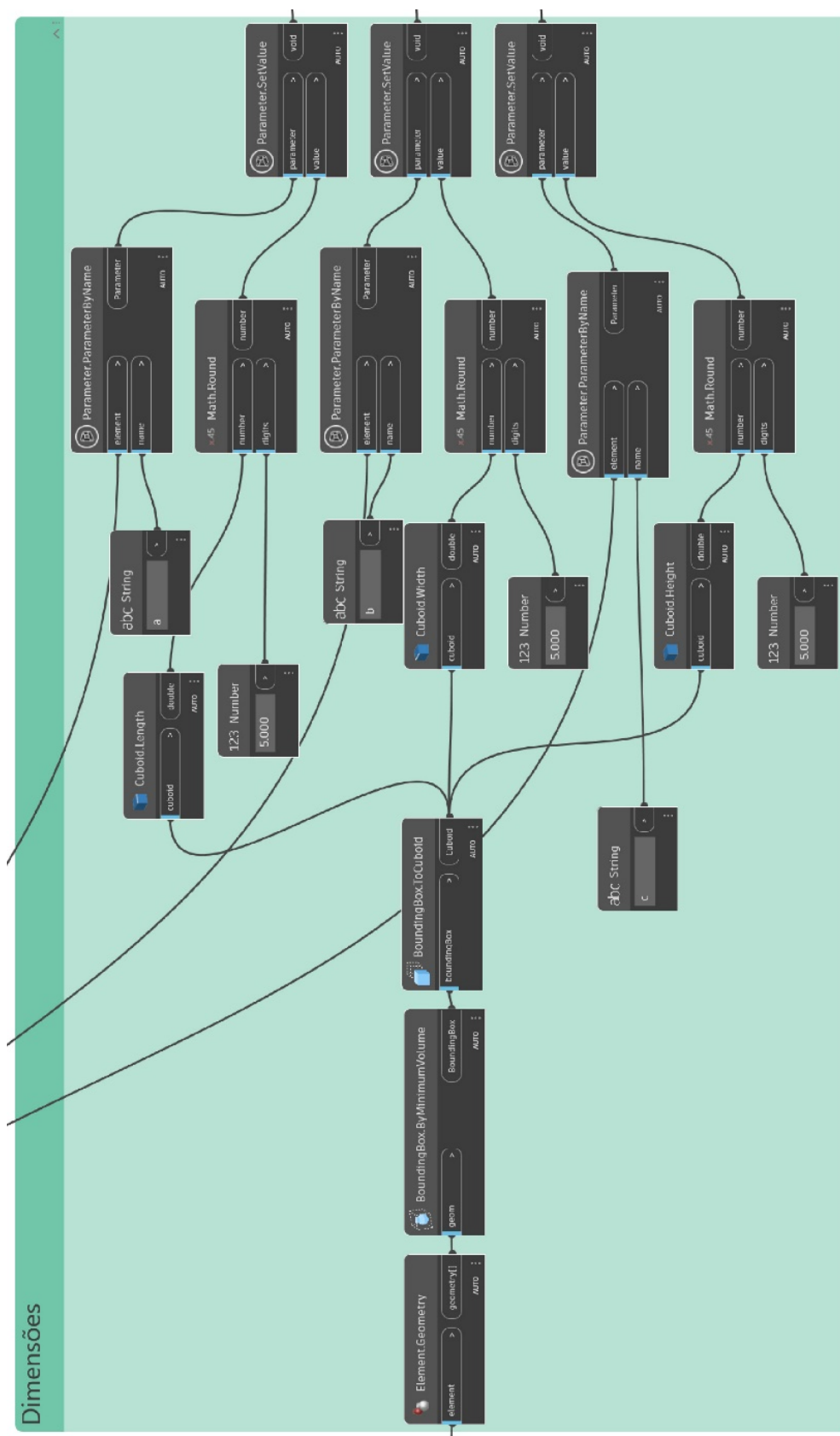


Fig. 75 - detalhe da Fig. 47, página 64

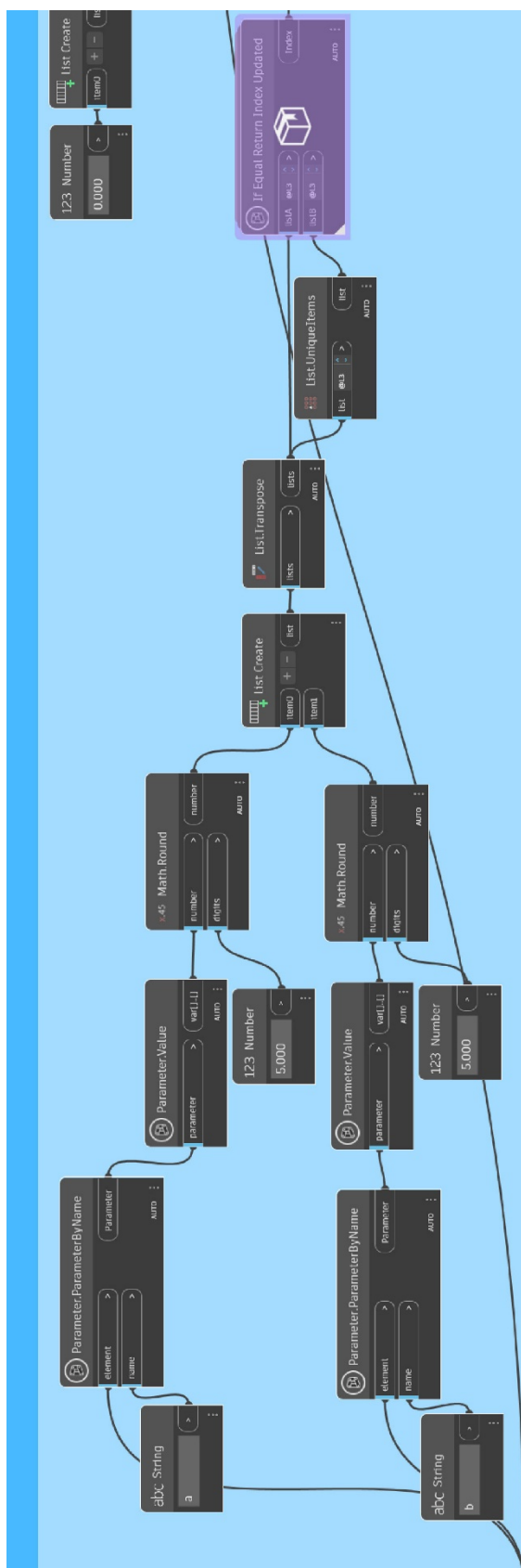


Fig. 77 - detalhe da Fig. 50, página 65

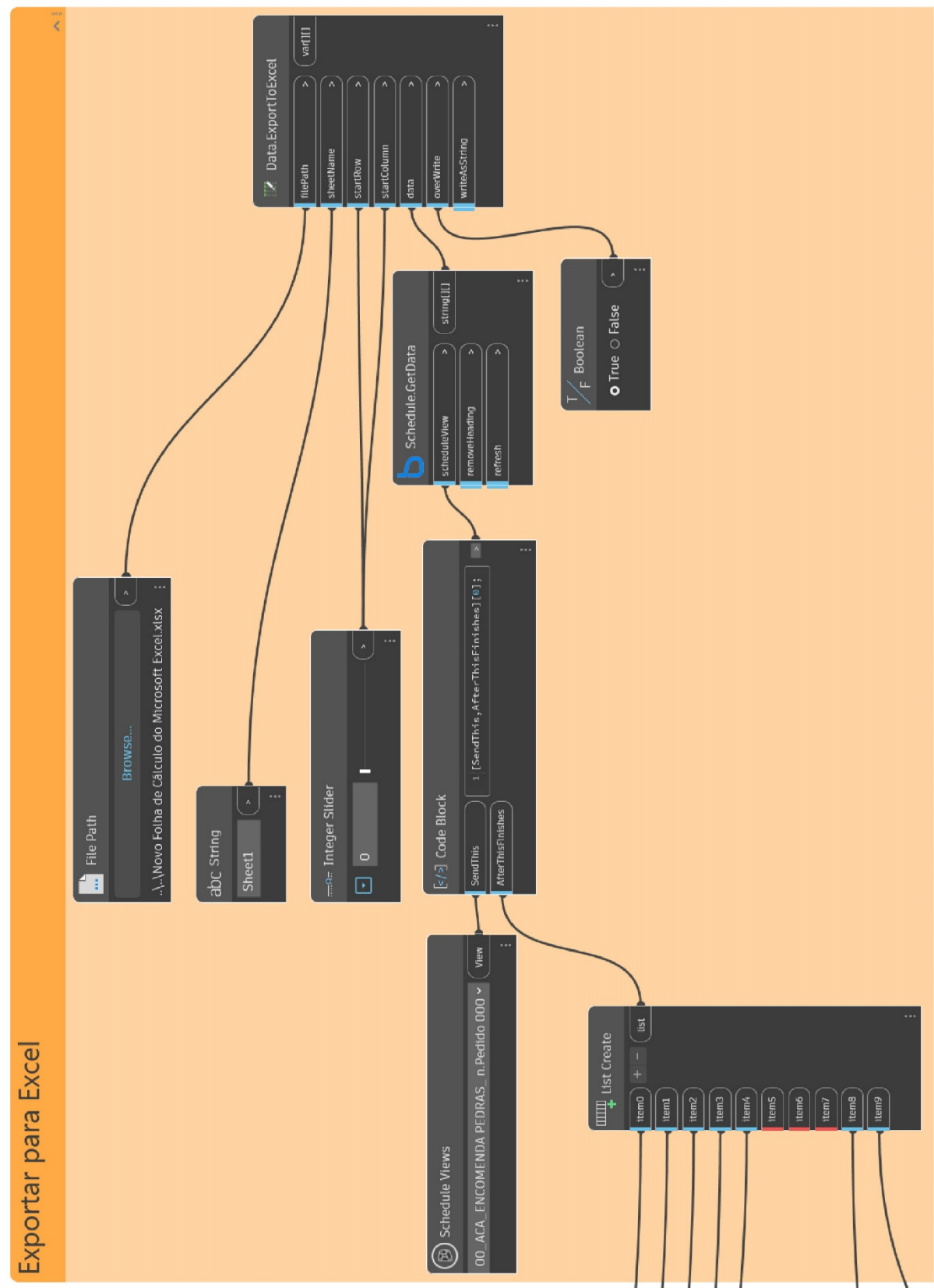


Fig. 78 - detalhe da Fig. 52, página 66

ANEXO 6. GLOSSÁRIO

1D: *One Dimension* (unidimensional) – Ações desenvolvidas numa única dimensão (eixo cartesiano). No contexto deste documento representa o corte, por exemplo, de um tudo ou de uma barra de metal ou de madeira.

2D: *Two Dimensions* (bidimensional) – Ações desenvolvidas segundo duas dimensões (um plano). No contexto deste documento representa o corte, por exemplo, de uma placa de vidro, madeira ou material cerâmico.

2D Bin Packing – Procura da otimização do processo de distribuição de um conjunto de peças de diferentes tamanhos, dentro de uma de maior dimensão, por forma a minimizar desperdícios e o trabalho de corte.

3D: *Three demensions* (tridimensional) – Ações desenvolvidas no espaço tridimensional. No contexto deste documento representa a análise das medidas de uma divisão de um edifício.

ACA (ACA Engenharia & Construção) - Empresa do Grupo ACA com quem o presente projeto foi executado. A ACA Engenharia & Construção atua sobre uma diversidade de áreas desde as Vias e Infraestruturas às Edificações, passando pela produção de misturas betuminosas, betão e agregados.

BIM: *Building Information Modeling* (Modelagem de Informação da Construção ou Modelagem de Informação para a Construção) - Metodologia que utiliza modelos tridimensionais inteligentes para gerir as informações sobre um edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a sua conceção até à demolição. É um processo colaborativo que integra dados de diferentes disciplinas (Arquitetura, Engenharia, etc.) e permite a partilha e a gestão de informações de forma eficiente.

CAD: *Computer Assisted Design* (Desenho Assistido por Computador) – designação genérica dos *softwares* usado para desenhar projetos em computador. É particularmente usado em Arquitetura, nas várias áreas de Engenharia ou do Design.

COP: *Cutting Optimization Pro* – Programa da empresa romena “S.C. Optimal Programs SRL” usado para determinar a otimização de corte de peças parciais. É um *software* que otimiza a forma como materiais (madeira, vidro, metal, plástico ou peças cerâmicas) são cortados em folhas (2D) ou peças lineares (1D). O objetivo principal é maximizar o aproveitamento da folha ou material disponível e gerar layouts de corte eficientes, minimizando o desperdício de material.

DYNAMO - Ferramenta de programação diretamente acessível a partir do Revit. Por meio dela um utilizador pode programar funções adicionais ou alterar/automatizar funções já existentes. A programação é basicamente feita por blocos, técnica que envolve o uso de blocos de código para executar as operações pretendidas.

ERP – *Enterprise Resource Planning* (Planeamento de Recursos Empresariais) – Conjunto interligado e interdependente de *softwares* que visam gerir todas as atividades de uma empresa. Englobam várias funções, como seja a gestão financeira e contabilística, a gestão de recursos humanos, as cadeias de compras e aprovisionamentos, a produção, as vendas, os transportes e os armazéns.

EXCEL - O Microsoft Excel, mais conhecido por apenas Excel, é um dos editores de folhas de cálculo mais difundido e completo do mercado, sendo usado em grande parte das aplicações comerciais.

FAMÍLIAS DE LADRILHOS - Grupo de elementos cerâmicos associados uns aos outros, que são regidos por um conjunto de parâmetros.

FOLHAS DE ESTEREOMETRIA – Estereometria é a parte da geometria que trata da medida dos sólidos. Em Engenharia Civil, o termo aplica-se à divisão lógica de componentes de um alçado. As folhas de estereometria são conjuntos de imagens que oferecem uma representação visual de algo que tem de ser montado (ladrilhos, equipamentos, condutas, entre outros). São feitas para funcionar em conjunto com as tabelas de estereometria e os planos de corte.

GITHUB – Repositório de programas que permite o controlo de versões e é aberto para uso do universo de programadores, permitindo também que estes colaborem e façam mudanças em projetos partilhados ao mesmo tempo que mantém um registro detalhado das intervenções sofridas.

LAYOUT - Organização e disposição dos elementos visuais num espaço, seja ele físico ou digital.

MODELAÇÃO 3D - Processo de desenvolver uma representação matemática baseada em coordenadas de uma superfície de um objeto em três dimensões através de *software* especializado, manipulando arestas, vértices e polígonos num espaço 3D simulado.

ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) - conjunto de 17 objetivos, cada um subdividido num conjunto de sub-objetivos, que visam proteger o planeta, erradicar a pobreza, garantir qualidade de vida e garantir a paz e a prosperidade para todos. Estes objetivos foram definidos pela ONU e aplicam-se a qualquer entidade, seja um país, uma região, uma cidade ou uma empresa e a sua aplicação e vigilância deverá tornar-se, cada vez mais, um objetivo universal.

PDF: *Portable Document Format* (Formato Portátil de Documento) - Formato de apresentação e gestão de documentos versátil. Inicialmente criado pela Empresa Adobe Inc. agora é agora um padrão aberto mantido pela *International Organization of Standardization* (ISO).

PYTHON – Linguagem de programação que pode ser usada gratuitamente.

REVIT: Autodesk Revit – Marca comercial de uma aplicação de BIM desenvolvida pela empresa Autodesk e amplamente utilizado em Arquitetura, Engenharia e Construção

TABELAS DE ESTEREOMETRIA – Estereometria é a parte da geometria que trata da medida dos sólidos. Em Engenharia Civil, o termo aplica-se à divisão lógica de componentes de um alçado. As tabelas de estereometria são as tabelas que contêm essa informação e a transferem entre programas ou utilizadores.

TEMPLATE (Modelo) – Modelo de documento, apenas com a estrutura e destinado a ser preenchido pelo utilizador com os conteúdos (texto, imagens, tabelas, etc.), por forma a dar origem ao documento final.

VERSÃO BETA - versão de um programa já funcional, mas contendo ainda falhas (bugs) e funcionalidades incompletas. É normalmente usada para testes finais do programa, antes do lançamento comercial.

WORKFLOW (Fluxo de Trabalho) – sequência estruturada de tarefas ou passos, realizados numa ordem específica e destinados a completar um objetivo específico.