



FEUP

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

MÁQUINA DE DESENHO – Aplicação de técnicas e procedimentos de desenho de observação em sistemas NPR

Pedro Jorge Brito Silva Gomes

Licenciado em Artes Plásticas – Pintura, pela Faculdade
de Belas Artes da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre em Tecnologia Multimédia

Dissertação realizada sob Supervisão do Professor
António Manuel Cardoso da Costa, do Departamento de
Engenharia Informática do Instituto Superior de
Engenharia do Porto

Porto, Fevereiro de 2007

Agradecimentos

Gostaria em primeiro lugar de agradecer ao Professor António Costa, pela sua dedicação, apoio e incentivo durante a fase de desenvolvimento deste projecto.

Agradecer também ao Professor Eurico Carrapatoso, pela forma calorosa como sempre me recebeu nesta instituição.

Aos amigos, colegas e artistas pela colaboração e avaliação dos resultados.

À Escultora Maria Antónia, um agradecimento muito especial, pelo apoio incondicional que sempre demonstrou ao longo desta investigação. Sem a sua motivação e incentivo este trabalho não teria sido possível de concretizar.

E por fim, a minha profunda gratidão ao “timoneiro” responsável pelo rumo na minha vida:

– meu pai.

Resumo

Com frequência vemos surgir novas soluções algorítmicas capazes de criar imagens com características fotorrealistas.

Na mesma linha de investigação, surgem outros algoritmos de simulação dedicados à reprodução de imagens com características gráficas idênticas aos desenhos realizados por mãos humanas. Estas simulações denominam-se, na gíria computacional, de *non-photorealistic rendering* (NPR).

Ao contrário das simulações fotorrealistas, em que os fenómenos físicos da luz são considerados e há muito já estudados, os modelos não-realistas são produto de múltiplas interações, muitas das quais vincadamente de origem humana.

Nos últimos anos, os sistemas NPR apresentaram soluções mais vocacionadas para a simulação plástica dos diversos estilos de desenho e metáforas associadas, negligenciando, na maioria dos casos, a importância dos mecanismos de percepção visual. Estes últimos determinam a forma como vemos e, não menos importante, a aparência do que criamos.

No entanto, poucos são os sistemas que procuram compreender a metodologia de trabalho dos desenhadores, limitando-se a recriar apenas os efeitos expressivos da obra acabada, descurando os inúmeros erros e as afirmações gráficas da obra.

Neste sentido, o contributo de outras áreas de investigação é particularmente útil para a construção de sistemas NPR, nomeadamente as artes visuais e a psicologia da percepção (Arnheim 1957), (Solso 1994).

Por mais realista que seja o desenho, este é sempre o resultado de escolhas e interpretações do seu autor (Massironi 1982). Quando o desenhador inicia uma obra tem de fazer escolhas – o que representar onde representar, e o que excluir da representação.

Este documento apresenta um sistema NPR baseado em procedimentos técnicos idênticos aos adoptados pelos desenhadores tradicionais: linhas diagramáticas para compreensão dos volumes; erros de traçados; perspectiva e linhas de profundidade; texturas modeladoras de superfícies em função dos pontos de luz, penumbra e sombra.

As técnicas expressivas de ênfase e exclusão gráfica, frequentemente aplicadas pelos desenhadores, são também abordadas no nosso sistema. Recorremos, para este efeito, aos dados adquiridos pelo *eyetracking* sobre o movimento ocular do observador para definir um diagrama de lugares de destaque visual (LDV) na composição, o qual permitirá aplicar um conjunto de filtros entre as camadas do desenho, simulando assim as técnicas anteriormente referidas.

Em síntese, propomos um sistema que procura representar o percurso evolutivo da obra (ao contrário de outros sistemas meramente preocupados com o resultado da obra acabada), através da réplica de inúmeros sinais gráficos, estratégias e metodologias de desenho, daí resultando uma imagem com características NPR de qualidades expressivas melhoradas.

Abstract

Many computer graphics techniques try to generate images with similar graphical characteristics to drawings produced by human hands. These techniques are called non-photorealistic rendering (NPR), in computer graphics slang.

Unlike the photo-realistic simulations, in which the physical phenomena of light are required and long studied, the non-realistic models are a product of multiple interactions, many of which with clear human origin.

In the past years, NPR systems presented solutions especially dedicated to simulate several drawing styles and associated metaphors, neglecting, in most cases, the importance of visual perception mechanisms. These latter determine the way we see and, also as important, the appearance of what we have created.

Systems that try to understand the methodology of the sketchers work are scarce and tend to just recreate the expressive effects of the finished work, ignoring the several mistakes and graphical assertions of the work.

As such, the cooperation with other research areas is particularly relevant for the construction of NPR systems, specifically the visual arts and the psychology of the perception (Arnheim 1969-1957), (Solso 1994).

No matter how realistic the drawing is, it is always the result of choices and author's interpretations (Massironi 82). When the sketcher begins a work he has to make choices – what to represent, where to represent and what to exclude from the representation.

This paper presents an NPR system based on the same technical procedures practiced by the traditional sketchers: diagrammatic lines for understanding the volumes; erratic traces; perspective and depth lines; textures to simulated surfaces according to light points, umbra and shadow.

The expressive techniques of accentuation and graphical exclusion frequently applied by the sketchers are also present in our system. We use the acquired data from eyetracking observer's ocular movement to define a diagram that we call the visual prominence places (VPP) in the composition, which will allow us to apply filters among the layers of the drawing, simulating the previously referred techniques.

In general, we propose a system that tries to represent the development of the work (unlike other systems merely concerned with the result of the finished work), through the replication of countless graphic signs, strategies and drawing methodologies, resulting a NPR image with improved expressive qualities.

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Índice	V
1. Introdução	8
1.1. Contexto	9
1.1.1. NPR – Non-Photorealistic Rendering	11
1.2. Objectivos	13
1.3. Estrutura da Tese	14
2. O Sistema Visual Humano	16
2.1. Anatomia e fisiologia do olho	17
2.1.1. O percurso da luz no Sistema Visual Humano	18
2.1.2. A fisiologia da retina	18
2.1.3. Sensibilidade e adaptação visual	20
2.2. Percepção visual	21
2.2.1. Estabilidade perceptiva	22
2.2.2. Percepção do espaço	22
2.2.3. Índices de profundidade	23
2.2.4. Atenção Visual	25
2.2.5. Percepção das formas	31
2.2.6. Percepção da cor	34
3. Gramática do Desenho	38
3.1. Componentes estruturais da linguagem plástica	39
3.1.1. A Linha	39
3.1.2. A linha – Paradigma computacional	45
3.1.3. Texturas	50
3.1.4. Texturas – Paradigma computacional	54
3.1.5. A Forma	58
3.1.5.1. Propriedades dimensionais das formas e sua aplicabilidade em Modelos de computação gráfica	58
3.1.6. Luz, Sombra e Penumbra	61

3.1.7. Luz e Sombra – Paradigma computacional	63
4. Procedimentos	66
4.1. Desenho Analítico	67
4.2. Técnicas de modelação geométrica em CG	70
4.2.1. Modelação manual/analítica em ambientes CG	70
4.3. Enfatismo e exclusão gráfica	71
5. Máquina de Desenho	78
5.1. Descrição conceptual e objectivos gerais	79
5.2. Constituição da Máquina de Desenho	81
5.2.1. Primeiro procedimento-chave – Análise e estruturação gráfica	82
5.2.1.1. O Problema	82
5.2.1.2. A Solução	82
5.2.1.2.1. Marcação de linhas estruturantes e redução da complexidade geométrica dos modelos de forma a obter objectos elementares	82
5.2.1.2.2. Perturbação nos traçados de forma criar irregularidades e variações no comprimento das linhas	85
5.2.2. Segundo procedimento-chave – Acentuação Formal	87
5.2.2.1. O Problema	87
5.2.2.2. A Solução	89
5.2.2.2.1. Criação de linhas de contorno dos objectos e sua definição formal	89
5.2.2.2.2. Expressão gráfica das linhas, quanto à sua textura e intensidade tonal	94
5.2.2.2.3. Superfícies em oclusão	97
5.2.3. Terceiro procedimento-chave – Enfatismo e exclusão gráfica	100
5.2.3.1. O Problema	100
5.2.3.2. A Solução	103
5.2.3.2.1. Recriação de grafismos que representem, com um apurado grau de fidelidade, as características formais dos objectos	103
5.2.3.2.2. Recriação dos comportamentos do SVH e consequente replicação na obra de desenho, através de soluções gráficas adequadas	104
5.2.4. Quarto procedimento-chave – Composição	107
5.2.4.1. O Problema	107
5.2.4.2. A solução	107

6. Avaliação	110
6.1. Metodologia	111
6.2. Análise dos resultados	112
6.3. Conclusões	119
7. Conclusão	121
7.1. Conclusões do trabalho	122
7.2. Trabalho futuro	123
Bibliografia	125
Anexos	128

1. Introdução

“Ousai, nós faremos o resto.”

I. Schein

1. Introdução

1.1 Contexto

O desenho é para muitos sinónimo de arte. Ou se quisermos, uma privilegiada forma de expressão artística. No entanto, o desenho também pode ser ciência e tecnologia. Porém, mal enunciarmos estas possibilidades, logo despertamos um conflito que tem gerado as mais apaixonadas discussões no seio da cultura ocidental.

Só o simples facto de associarmos o termo máquina ao desenho é suficiente para certas classes eruditas do saber cultural e artístico se insurgirem – A arte do Desenho, dizem, não pode recorrer a qualquer artefacto técnico sob pena de destruir a sua essência: feito à mão!

Este foi o pensamento vigente no século XIX, marcadamente romântico, que via todos os artefactos tecnológicos como uma espécie de prótese da qual se serviam alguns artistas com o intuito de superarem uma certa incapacidade artística. Afinal, o “bom” artista era o indivíduo que, à priori, possuía um dom especial, logo a máquina apenas iria servir para destruir essa áurea. Só a possibilidade de ensinar e dotar indivíduos de certos recursos técnicos, truques e atalhos capazes de fazer deles artistas era inconcebível para o pensamento romântico do século XIX.

Todavia, a história da arte é também a história da tecnologia, em muitos aspectos, e a máquina é talvez o mais frequente denominador comum. De facto, a fronteira entre arte e tecnologia, seja nas tradições clássicas ou nas mais vanguardistas expressões artísticas, é muito ténue, por vezes, até imperceptível.

Muitos exemplos de máquinas inscrevem-se, simbolicamente, nesta fronteira entre arte e tecnologia: o Perspectógrafo, a Lanterna Mágica, o Rotoscópio, o Pantógrafo, o Optígrafo, Máquina de Perfis, a Câmara lúcida, a Câmara Fotográfica e tantas outras que de alguma forma servem para saciar a curiosidade científica e para concretizar as mais diversas motivações plásticas dos artistas.

Prova de como estas máquinas se inscrevem na fronteira entre tecnologia e arte é o facto de aparecerem referenciadas nos mais heterogéneos documentos: tratados de arte, obras científicas, enciclopédias, manuais de engenharia, etc.

As motivações artísticas para a construção de máquinas de desenho prendem-se com as mais variadas pretensões, entre elas, a procura de uma forma de representação objectiva e a representação verosímil da realidade visual recorrendo à perspectiva geométrica.

No que diz respeito à ciência, são várias as motivações: busca da verdade orientada por ideais cognitivos, “espírito da demonstração”, descrição e compreensão dos fenómenos da natureza.

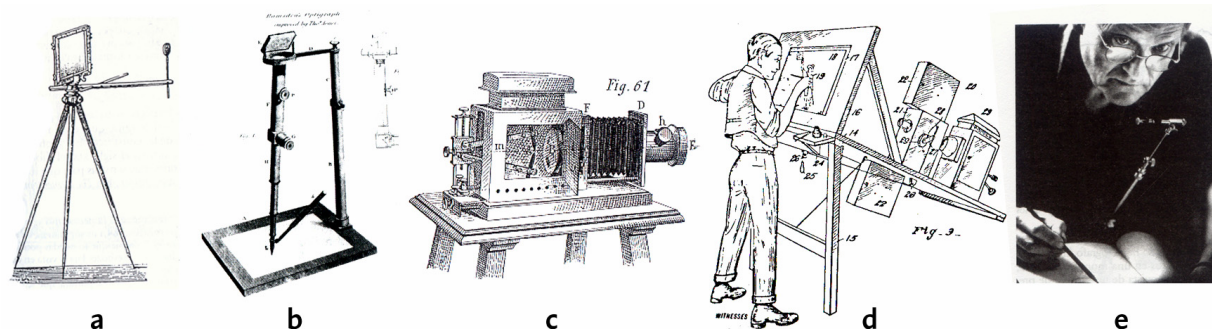


Figura 1.

a – Perspectógrafo portátil, Christopher Müller, 1776; **b** – Optógrafo de Jesse Ramsden (1735-1800); **c** – Lanterna de projecção num tratado de 1685, Zahn, *Oculus Artificialis*; **d** – Rotoscópio patenteado por Max Fleischer em 1917; **e** – O pintor David Hockney desenhando com ajuda de uma câmara Lúcida.

A câmara fotográfica é o perfeito exemplo de como a ciência e a arte podem e devem caminhar em conjunto. Este engenho reflecte séculos de pesquisas, anseios e motivações, por vezes com contornos culturais de cariz artístico, outras vezes científico, como bem revela a etimologia da palavra – “fotografia” (*hôs, photós*, luz + *graph*, r. de *graphein*, desenhar).

Serve os cientistas¹ pelas qualidades fenomenológicas que a fotografia encerra: a óptica, a química, a perspectiva geométrica, o tempo, etc. Serve os artistas pela forma fiel como descreve o mundo visível e por acrescentar a este qualidades denotativas que colocam o documento fotográfico num patamar de inquestionável valor artístico.

Num tempo apelidado por muitos de “digital”, fará sentido continuarmos a falar do confronto entre arte e tecnologia? Provavelmente em nenhum outro momento da história, a arte e a tecnologia se aproximaram tanto. De facto, poucas são as actividades humanas onde o “digital” não tenha tocado. O desenho não foi excepção. Mas de que modo a enunciada “revolução digital” está a mudar a forma como concebemos o desenho?

Desde os desenhos CAD (Computer Assisted Drawing) que revolucionaram as práticas de atelier das mais diversas profissões, passando pelos desenhos de ilustração vectorial que crescentemente convida artistas e designers a aplicar os seus conhecimentos artísticos neste novo médio, até às soluções de desenhos 3D que nos transportam para uma quarta dimensão – o espaço virtual.

A mudança opera-se ao nível da capacidade de copiar, teoricamente, até ao infinito desenhos cópias de si próprios. Como se não bastasse, os novos meios telemáticos distribuem estes “clones” por uma rede que é de todos e de ninguém ao mesmo tempo.

Outro aspecto desta mudança está no crescente acesso a sofisticadas estações de tratamento de imagem, por públicos não-especializados, protagonizado pela democratização dos computadores.

¹ “A imagem é um elemento imprescindível para a ciência. Sem imagem não há investigação.” A imagem funciona como um “acelerador de teoria, pois permite à ciência visualizar entidades e reflectir sobre elas. Tão vital é a utilidade prática e teórica da imagem que as grandes áreas da ciência, a genética, astrofísica, não seriam possíveis de abordar sem o seu apoio.” (Goméz Molina 2002).

Consequência disto: termos técnicos, soluções e práticas de design, utilização de ferramentas especializadas (sob a forma de algoritmos) de pintura e desenho e outras tantas técnicas ligadas às artes visuais, são agora frequentemente abordadas por pessoas sem formação nesta área. É certo que isto não faz dos utilizadores artistas ou designers. No entanto, só o facto de empregarem certas expressões técnicas, como sejam gradações tonais, efeitos de claro-escuro, classificações cromáticas, padrões e texturas, etc.², é já um sinal de mudança.

No que concerne à expressão, as mudanças provocadas pelo “digital” estão aquém das transformações registadas noutras matérias. No entanto, nas aplicações dependentes do utilizador, melhor dizendo, nas interfaces que facultam aos utilizadores diversas ferramentas de desenho, a expressão tem já uma qualidade plástica. E isto é particularmente visível nas aplicações que criam novos universos plásticos, contrárias aos sistemas que se debruçam apenas sobre a imitação dos diversos meios de desenho, como sejam os materiais e os suportes.

De qualquer forma, todas as críticas que possamos redigir acerca das “insuficientes” qualidades técnicas proporcionadas pelos novos meios digitais são de todo irrelevantes. Pois, tal como aconteceu com a fotografia e a pintura há século e meio atrás, é absurdo fazer qualquer comparação entre as duas formas de expressão (digital e analógica). A história tem-nos ensinado a ver cada nova expressão, não como um substituto da anterior, mas sim como complemento, determinando assim novas formas de diálogo entre o fazedor e a obra, novos universos plásticos e novas plasticidades.

1.1.1 NPR – Non-Photorealistic Rendering

Da mesma forma que a fotografia libertou a pintura do compromisso de representar fielmente a realidade, permitindo aos artistas/pintores equacionarem outras formas de representação, as imagens fotorrealistas, sintéticas e geradas por computador, têm conduzindo os investigadores a certos domínios da imagem onde a representação realista não é o principal objectivo. Estamos a referir, especificamente, a uma área da computação gráfica denominada de não-fotorrealista (NPR³).

Este aparente “desvio” nas motivações dos investigadores deveu-se ao facto de, apesar da fidelidade com que a fotografia é capaz de descrever o mundo e as suas formas, só o desenho, nas suas mais diversas expressões, ter a capacidade de proporcionar informações preciosas acerca das propriedades físicas, estruturais, dimensionais ou outras dos objectos. Este facto, com a necessária distância histórica, foi já abordado aquando do surgimento da fotografia. Esta técnica, ao contrário do que se julgava na altura, não substituiu o desenho, pois este sempre ocupou um lugar de importância indiscutível.

² O mais paradigmático exemplo disto é a representação icónica proposta por certos programas de manipulação de imagem. Por exemplo, no “clássico” “Photoshop”, a caixa de ferramentas apresenta um conjunto de ícones, que são apenas metáforas que simbolizam os convencionais procedimentos técnicos, realizados no tradicional laboratório fotográfico.

³ Do Inglês non-photorealistic rendering. Este termo foi pela primeira vez empregue por Strassmann no seu paper “Hairy Brushes”, mais tarde Lansdown e Schofield estruturaram o conceito e o cerne do problema (Lansdown 1995).

Assim, o objectivo principal dos investigadores em NPR não é a construção de imagens fotorrealistas, cujas qualidades se medem através da forma como simulam os efeitos físicos da luz num determinado cenário, mas sim o poder efectivo de comunicar uma ideia, uma expressão, a essência de um cenário - “simular a realidade não é tão importante como criar a ilusão da realidade (Gooch and Gooch 2001). Neste sentido, fazer imagens NPR requer o domínio de certas técnicas de expressão, estilização e comunicação através de grafismos onde a percepção humana é o principal árbitro.

As pesquisas em NPR podem ser classificadas em três domínios:

- *Simulação de médios tradicionalmente utilizados pelos artistas.*
Pesquisa de soluções técnicas adequadas para a simulação das propriedades físicas dos materiais de desenho, nomeadamente o óleo, o pastel, o grafite, o papel, etc.
- *Grafismos criados por automatismos.*
Criação de soluções gráficas que permitam automatizar certos tipos de desenho com um objectivo plástico definido. Inserem-se neste domínio, o desenho de observação do real, o desenho de ilustração, o desenho técnico, etc.
- *Interfaces de utilizador para criação de grafismos de valor expressivo.*
Pesquisa e desenvolvimento de interfaces que auxiliem os utilizadores na construção de imagens de valor expressivo.

Certas motivações são transversais a todos estes domínios de investigação NPR:

- O desejo de recriação de grafismos computacionais, capazes de simular na perfeição os desenhos humanos, dotando assim os grafismos NPR das mesmas qualidades expressivas dos desenhos tradicionais.
- A identificação das qualidades comunicativas dos grafismos NPR e posterior repercussão em sistemas computacionais, permitindo assim a sua partilha em larga escala (serviços on-line).
- Disponibilizar aos mais inexperientes ferramentas de geração de desenhos de qualidade técnica e expressiva.

Concluimos este capítulo reformulando o que dissemos no início desta introdução: O desenho gerado por computador será sinónimo de arte? Estamos certos que não, e nem é essa a intenção da máquina de desenho que propomos construir. A principal intenção que nos move não é a substituição do artista, do ilustrador, pois estes continuarão a ser sempre indispensáveis, mas é sim a reformulação de práticas, técnicas e artefactos capazes de suscitar novas plásticas e outras formas de pensar o desenho.

Os artistas são os nossos orientadores, os credenciados avaliadores dos *output* dos sistemas NPR. Tal como referimos anteriormente para o desenho digital vs. analógico, a computação NPR não pretende substituir o desenho humano, mas sim complementá-lo.

1.2 Objectivos

A investigação desenvolvida e conseqüente aplicação na construção da máquina de desenho assentou em três premissas fundamentais: questões relacionadas com as metodologias e processos de desenho, nomeadamente, desenho de representação do real; simulação de certas características técnico-expressivas dos desenhos gerados por mão humana; apreciação das qualidades comunicativas do desenho humano e sua aplicabilidade em sistemas computacionais. Para este efeito, enunciamos os objectivos que orientaram o desenvolvimento do sistema e também permitiram estabelecer um patamar de exigência, num campo tão subjectivo e vasto como é o universo do desenho. Foram eles:

- *Simular grafismos com características tipológicas idênticas aos desenhos de representação do real.*
- *Gerar obras gráficas idênticas, no seu aspecto formal, aos desenhos tradicionais.*
- *Reproduzir objectos com um certo grau de imprecisão formal.*
- *Adaptar-se ao contexto comunicativo em que se insere de forma dinâmica e imprevisível.*
- *Simular todo o percurso/processo evolutivo da obra de desenho tradicional, baseando-se para tal nos modelos convencionais de aprendizagem da disciplina de desenho.*
- *Simular os efeitos de ênfase e exclusão gráfica.*

Definidos estes objectivos, identificamos a área da computação gráfica que se dedica a estes problemas para melhor poder avaliar e definir as tecnologias necessárias para a concretização dos nossos intentos: computação gráfica NPR foi a solução.

Ao adoptarmos esta abordagem técnica, precisámos de encontrar uma plataforma/laboratório que permitisse, por um lado, experimentar diversas soluções algorítmicas, por outro, conter determinadas funções previamente definidas (como sejam sistemas de coordenadas espaciais), um potente motor de geração de imagens (*render engine*), formas tridimensionais predefinidas (convencionalmente denominadas de “primitivas”) e uma linguagem de programação suficientemente robusta, estável e poderosa. A nossa escolha recaiu na aplicação *3dsMax*, por preencher todos os requisitos mencionados, salientando o facto de ter incluído o poderoso motor de síntese de imagem *Mental Ray*.

Esta plataforma permitiu o desenvolvimento de um conjunto de módulos, em linguagem de programação *maxscript*, que automatizam os diversos procedimentos de desenho, bem como metodologias, estratégias, truques e didácticas consideradas típicas do processo de desenho de representação do real.

Para a recriação das técnicas de ênfase e exclusão gráfica recorreu-se ao eyetracking (ET)⁴ para geração de diagramas de lugares de destaque visual (LDV) e posterior aplicação no sistema.

Este projecto só ficaria concluído após a sua avaliação efectuada por um público especializado. Não só para aferir os objectivos atingidos, como também para nortear outras soluções e características técnicas e expressivas a implementar em posteriores actualizações.

1.3 Estrutura da Tese

Esta dissertação tem início com o capítulo “Introdução”, no qual se fornecem informações acerca do problema que nos propomos resolver, situando-o num determinado contexto histórico e tecnológico. Posteriormente, apresenta os objectivos principais do trabalho, e por fim, a estrutura da tese.

No segundo capítulo, intitulado “O sistema Visual humano”, explanamos a anatomia e fisiologia do olho humano, bem como os fenómenos da percepção visual, designadamente, percepção do espaço e da forma, índices de profundidade, atenção visual e, por fim, percepção da cor. A utilidade deste capítulo está na necessidade de explicar determinados fenómenos físicos, inerentes ao sistema visual humano, em que a sua ausência dificultaria a compreensão de conceitos aplicados na Máquina de Desenho.

No capítulo três “Gramática do Desenho”, comentamos as elementares estruturas do desenho e a forma como estas se organizam na obra gráfica, de forma a criarem uma linguagem plástica. Começamos pelos componentes básicos, nomeadamente a linha, a textura, a forma, a luz sombra e a penumbra. Em todas estas secções apontamos também as correspondentes soluções computacionais: desde a representação de linhas através de pontos; por análise representativa; linhas gestuais geradas por soluções algorítmicas; texturas procedurais multidimensionais; mapas de texturas, relevo, cor e transparência, forma e sua aplicabilidade em modelos CG e por fim algoritmos de iluminação, designadamente, reflexão difusa, luz ambiente, sombreamentos planos e Gouraud.

No capítulo quatro “Procedimentos”, apresentamos diversas metodologias e didácticas relativas às práticas de desenho, particularmente, o desenho analítico e ênfase e exclusão gráfica. Apresentamos também as convencionais técnicas de modelação geométrica em ambientes computação gráfica, bem como uma secção relacionada com o desenho conceptual e a sua aplicabilidade em CG 3D.

⁴ Máquina que permite monitorizar rigorosamente os movimentos oculares, mais especificamente, os movimentos da pupila.

No capítulo cinco “Máquina de Desenho”, descrevemos os objectivos gerais e conceptuais do nosso protótipo, seguindo-se a descrição dos elementos constituintes da máquina, através de uma metodologia dividida em quatro secções: análise e estruturação gráfica; acentuação formal; ênfase e exclusão gráfica e composição. Cada uma destas secções corresponde a quatro consequentes procedimentos-chave (PC). Por sua vez, cada PC está organizado da seguinte forma: definição do problema e solução adequada.

No capítulo seis “Avaliação”, apresentamos os resultados dos inquéritos sobre as qualidades técnicas e expressivas dos desenhos gerados pelo nosso protótipo. Primeiro descrevemos a metodologia de avaliação, em seguida apresentamos os resultados e por fim a conclusão.

Finalmente, no capítulo sete “Conclusões”, apresentamos as conclusões desta investigação e encerramos este capítulo com o trabalho futuro.

2. O sistema Visual Humano

“A visão é uma apreensão verdadeiramente criadora da realidade – imaginativa, inventiva, perspicaz e bela. Toda a percepção é também pensamento, todo o raciocínio é também intuição, toda a observação é também invenção. A percepção consiste na formação de “conceitos perceptivos”. A visão é uma actividade criadora da mente humana – ver é compreender”.

Rudolf Arnheim

2 O Sistema Visual Humano

Como a matéria central desta tese são imagens visuais, devemos-nos interrogar sobre o que é uma imagem visual, como vemos as imagens e logo como as interpretamos. Estas interrogações apontam para respostas complexas que exigem uma profunda reflexão sobre o assunto. Neste sentido, num primeiro momento vamos procurar explicar sucintamente a anatomia e a fisiologia do Sistema Visual Humano (SVH); a relação de causa/efeito entre os fenómenos ópticos externos e a actividade visual; o percurso que a luz faz a partir do momento em que entra no nosso aparelho visual e as transformações físicas e químicas que ocorrem no nosso aparelho visual. Num segundo momento, vamos reflectir acerca de alguns aspectos relacionados com a percepção visual, nomeadamente, algumas noções sobre a estabilidade perceptiva, a percepção do espaço e os respectivos índices de profundidade e, por fim, os fenómenos da percepção da forma e algumas teorias associadas.

2.1 Anatomia e Fisiologia do Olho

A anatomia do SVH divide-se em três camadas: a camada externa, a intermédia e a interior (figura 2.1.1).

Na camada externa distinguimos três zonas: Córnea, Íris e o Cristalino.

Córnea – Situada na zona central do olho, de aspecto transparente e brilhante, é a primeira zona de contacto dos raios de luz com o aparelho visual. É a córnea que determina o ângulo de projecção dos raios de luz no percurso até à retina. Este processo é muito semelhante ao que acontece quando vemos através de uma jarra transparente cheia de água – os raios de luz passam através da água, sofrem uma mudança de direcção provocando um efeito de ampliação visual e logo de seguida voltam a percorrer a atmosfera.

Íris – Regulador da intensidade lumínica que entra no olho (muito idêntico ao diafragma da câmara fotográfica). A sua acção é determinada em função das condições lumínicas externas – quanto maior a intensidade lumínica mais a íris se contrai e vice-versa.

Cristalino – Tem uma forma variável, consoante a distância e proximidade dos objectos e permite focar os raios de luz até formar uma imagem nítida na zona de projecção da Retina.

Na camada intermédia temos a *Retina*.

Retina – Zona de projecção (similar à película fotográfica), onde a luz é convertida em sinais electroquímicos, através de um conjunto de células fotossensíveis, o que possibilita ao cérebro interpretar estes sinais. A *Retina* é assim uma zona simultaneamente receptora e processadora.

Na camada mais profunda do SVH encontramos o *Nervo Óptico* e o *Córtex Visual*.

Nervo Óptico – É uma espécie de canal de ligação entre a Retina e o *Córtex Visual*. Por aqui passam os sinais visuais adquiridos e processados pela retina até ao cérebro.

Córtex Visual – Este é o lugar de processamento, reconhecimento, interpretação dos sinais visuais. É o órgão onde o “ver” se transforma em “observar”.

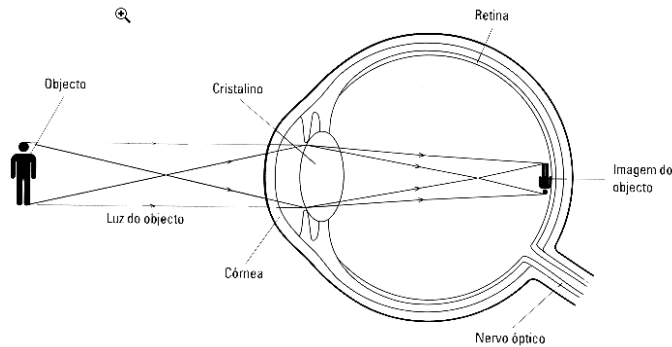


Figura 2.1.1
Diagrama simplificado do olho humano e formação da imagem na retina.

2.1.1 O percurso da luz no sistema visual humano

Três importantes transformações que ocorrem no SVH:

Transformações ópticas – a luz ao entrar no olho sofre um conjunto de reflexões e ampliações, gerando uma imagem na parte de trás do olho, muito idêntico ao que acontece numa câmara fotográfica;

Transformações químicas – a parte de trás do olho, a retina é formada por um conjunto de receptores sensíveis a variações lumínicas, capazes de gerar reacções químicas que por si só geram impulsos eléctricos. Estes impulsos eléctricos são depois enviados para níveis retinianos mais profundos e lá são comparados e integrados num todo, no sentido de avaliar a sua importância sensorial;

Transformações nervosas – quanto maior for a intensidade do estímulo eléctrico gerado pelas células fotossensíveis, maior probabilidade tem de ser enviado para processamento cerebral, onde ocorrem transformações de origem nervosa.

2.1.2 A fisiologia da retina

Até meados da década de 50 julgava-se que as células retinianas (localizadas a níveis superiores da retina) apenas se limitavam a enviar sinais para o cérebro, sendo este uma espécie de receptáculo de interpretações e escolhas do que vemos e do que queremos ver. No entanto, sabe-se hoje que este processo é bem mais complexo.

A retina constitui uma importante zona de processamento de imagens. É na retina que se formam as imagens que serão posteriormente processadas pelo cérebro.

A retina é composta por um significativo número de receptores fotossensíveis (cerca de 100 milhões) de dois tipos: os cones e os bastonetes. É na fóvea, zona onde a imagem projectada tem mais acuidade, que existe uma maior concentração de cones (figura 2.1.2).

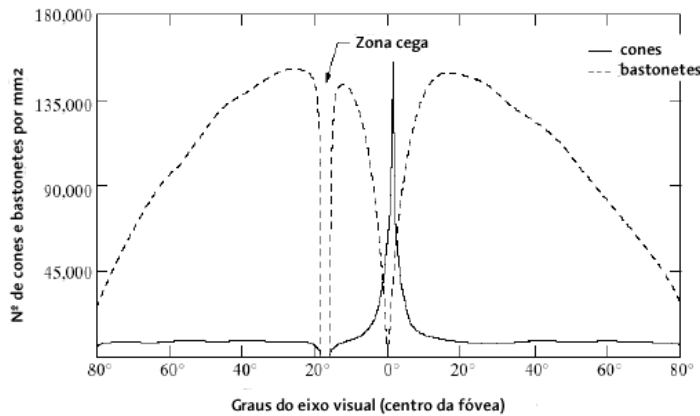


Figura 2.1.2
Distribuição dos cones e bastonetes na retina (Atkinson 1988, adaptado).

Estes fotorreceptores contêm substâncias fotoquímicas que transformam a luz em impulsos nervosos, os quais são posteriormente enviados para o cérebro. A rodopsina é uma dessas substâncias químicas e quando estimulada pela luz, gera um minúsculo impulso eléctrico. Logo que estes impulsos atingem uma carga eléctrica significativa, desencadeiam uma reacção nas células nervosas da retina.

Este estímulo é posteriormente transmitido para as camadas mais profundas da retina, onde estão agrupadas um conjunto considerável de células especializadas: células bipolares, células horizontais, células amacrinas e células ganglionares (figura 2.1.3)

1. Cones receptores
2. Bastonetes receptores
- 3., 4., e 5 Células bipolares
6. Células Amacrinas
7. Células Horizontais
8. e 9. Células ganglionares

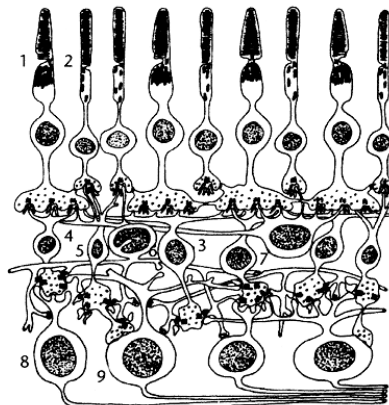


Figura 2.1.3
Desenho esquemático da retina de um primata onde se destacam as células fotossensíveis (adaptado do Atkinson 1988).

As células bipolares são responsáveis por amplificar ou inibir os fotoreceptores, as células horizontais e as amacrinas combinam e integram os sinais adjacentes fotorecepcionados e as células ganglionares conjugam todos os sinais adquiridos pelas células anteriores, formando uma matriz activa denominada de *campo visual*. Este campo visual especializou-se em detectar com extrema acuidade variações de luminâncias – quando os receptores centrais são estimulados (+), os receptores adjacentes são inibidos (-) e vice-versa. Esta capacidade perceptiva permite-nos reconhecer os contornos dos objectos, fendas, linhas e ângulos, mesmo de dimensões consideravelmente pequenas, como acontece com os caracteres deste documento. (figura 2.1.4)

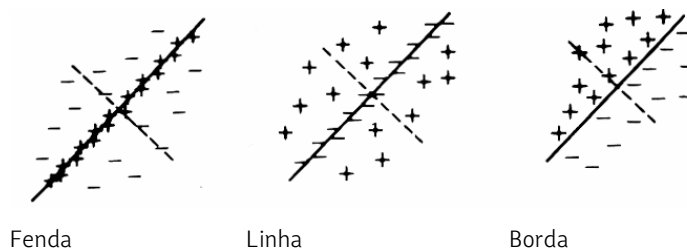


Figura 2.1.4
Estimulo e inibição das células receptores em função das variações de luminância.

2.1.3 Sensibilidade e adaptação visual

Ao longo do dia experimentamos um vasto leque de diferentes condições de luz, as quais exigem por parte do SVH uma contínua adaptação. Por exemplo, em situações de intensa e prolongada exposição lumínica, o consumo de substâncias fotoquímicas é maior, gerando menor sensibilidade à luz. Salientamos alguns exemplos em que o SVH é obrigado a adaptar-se às exigências do meio em condições extremas, analisando a forma como decorre esta adaptação.

Os cones ocupam a zona central da retina e sofrem directa influência dos raios de luz devido à sua posição no eixo óptico. Sempre que as condições de luz ambiente são diminutas, estes não funcionam, o que se deve ao facto dos cones servirem apenas para detectar variações cromáticas (esta é a sua especialidade). Podemos ser levados a pensar que devido, a esta aparente deficiência ocular, em condições de fraca visibilidade cromática, como seja um dia de nevoeiro onde predominam os tons de cinza e branco, ver é uma tarefa difícil. No entanto, sabemos que não é assim. Isto porque os bastonetes, extremamente sensíveis a variações de contraste lumínico, se encarregam de fornecer um conjunto de pistas visuais que nos permitem identificar os objectos.

Outras situações existem onde a luz muda abruptamente, por exemplo, quando entramos numa sala de cinema escurecida. No momento imediato discernimos apenas as zonas iluminadas do ecrã, só passado algum tempo conseguimos perceber o que nos rodeia. Isto deve-se ao facto de os bastonetes, especializados em detectar variações de luz, necessitarem de um certo tempo de adaptação,

para reagirem aos estímulos externos. Geralmente, este tempo de adaptação é bastante longo, necessitando os bastonetes de cerca de vinte a trinta minutos até estarem cem por cento aptos, tal como demonstra o gráfico da figura 2.1.5.

Apesar da complexa e especializada capacidade em percepcionarmos os contrastes de luminância, não estamos aptos a distinguir os contrastes de luminância em si. Ou seja, as células retinianas, ao distinguir os contrastes lumínicos percebidos, estão a fazê-lo em função dos contrastes vizinhos e com esta comparação somos capazes de discriminar os diferentes contrastes de luminância. Bastará as condições de contraste vizinhas mudarem para percepcionarmos de outra forma (figura 2.1.6).

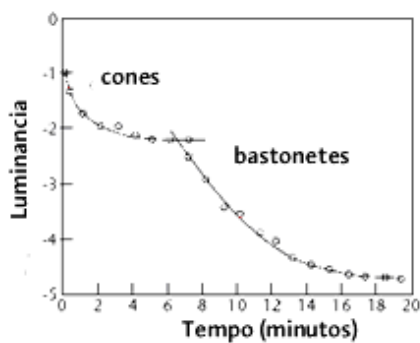


Figura 2.1.5
(Ferwerda 2001)

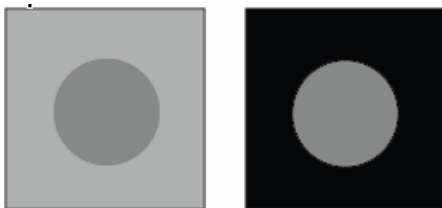


Figura 2.16
O pequeno círculo no interior dos quadrados tem a mesma intensidade lumínica. No entanto, bastará o contraste do fundo mudar (contraste vizinho), para que o círculo seja visto como mais luminoso.

2.2 Percepção Visual

Ver é, numa perspectiva fisiológica, o efeito de uma reacção do sistema visual humano à luz exterior. Percepcionar implica tomar conhecimento sensorial de objectos. Logo, é muito mais que uma simples reacção de causa/efeito.

Desde os tempos mais remotos da civilização humana que os fenómenos da percepção visual são objecto de reflexão, a vários níveis: artístico e teórico com Alberti, Leonardo da Vinci, Dürer; filosófico com Berkley e Descartes; e físico com Newton.

Só no início do sec. XIX surgem as teorias da percepção propriamente ditas. São delas exemplos os tratados de Helmholtz e Fechner. Posteriormente, as inúmeras investigações laboratoriais efectuadas

originaram uma vasta produção teórica sobre a percepção visual, esclarecendo-nos acerca da forma como percebemos o mundo que nos rodeia.

Recorrendo às mais recentes teorias da percepção visual vamos procurar descrever, em linhas gerais, como percebemos e como organizamos o que vemos.

Partiremos do geral para o particular, analisando primeiramente os fenómenos relacionados com a estabilidade perceptiva, percepção do espaço físico e posteriormente os aspectos relacionados com a percepção das imagens, nomeadamente, a atenção e busca visual e a percepção da forma.

2.2.1 Estabilidade perceptiva

As propriedades físicas dos objectos não dependem dos nossos olhos. Apesar de capturarmos os fenómenos visuais através de sucessivas sequências, interpretamos a realidade visual como um cenário estável e contínuo. Isto permite-nos, à priori, identificar um conjunto de coisas que esperamos que se mantenham invariáveis dia-após-dia.

No entanto, certas variações visuais provocam alguma inconstância visual – as proporções dos objectos, a proximidade e distância das coisas, as formas, a orientação e posição dos objectos no espaço, as qualidades das superfícies, são apenas alguns exemplos.

Estas variações contribuem para a ideia de realidade em movimento, sem no entanto perturbarem a ideia de ordem formal que nos permite interpretar antecipadamente o que vamos ver.

Esta dupla percepção de espaço estável, por um lado, e formalmente inconstante, por outro, faz do SVH um mecanismo bem mais complexo do que um simples sistema de captura e processamento de imagens.

2.2.2 Percepção do espaço

Procurar perceber o espaço que nos rodeia é sobretudo apreender a profundidade e o relevo da realidade visual. Esta “busca” perceptiva é, em grande parte, proporcionada pela capacidade binocular de vermos o mundo⁵. No entanto, a percepção da profundidade do espaço não depende unicamente da visão binocular, pois se assim fosse, as fotografias, as pinturas, o desenho, porque são representações monoculares representadas em planos bidimensionais⁶, logo sem profundidade, não nos possibilitariam ver a profundidade das cenas representadas. Sabemos que tal não acontece, como provam as inúmeras obras pictóricas do período renascentista, capazes de visualmente nos “transportarem” para o interior da narrativa, ou as fotografias com tal grau de ilusão de profundidade que mais parecem janelas de separação entre a realidade e o espaço fotografado.

⁵ Pessoas com visão normal têm visão binocular e é a partir desta visão estereoscópica que o ser humano inconscientemente avalia as profundidades ou julga distâncias. Hodges, L.F. (March 1992). Tutorial: Time Multiplex Stereoscopic. Computer Graphics Application.

⁶ Salvo as fotografias estereográficas, construídas através de um conjunto de lentes ligeiramente afastadas, imitando assim a visão binocular do SVH.

Concluímos desta forma existirem outras pistas visuais que nos fornecem preciosas informações acerca da profundidade do espaço. São essas preciosas informações visuais que iremos abordar em seguida.

Antecipadamente, apresentamos três factores que contribuem para a percepção da profundidade espacial, são eles: as texturas gradientes, a perspectiva linear e as variações de iluminação. Estes três factores são tecnicamente denominados índices de profundidade.

2.2.3 Índices de profundidade

Texturas gradientes

As texturas físicas das superfícies dos objectos são percebidas consoante a distância a que se encontra o observador: quanto mais perto estamos dos objectos, mais apreendemos a granulosidade das texturas; quanto mais longe menor definição das texturas. Este fenómeno óptico constitui uma importante pista visual, pois permite-nos determinar, por comparação entre objectos em cena, a que distância qualitativa se encontra o observador dos objectos. Ora vejamos um esclarecedor exemplo desta afirmação: Imagine um vasto campo de cultivo. As plantas mais próximas do observador formam um conjunto texturado rico em detalhes, enquanto que nas mais afastadas, os detalhes se desvanecem até se transformarem num conjunto de manchas tonais. Esta diferenciação visual é assim uma importante pista, pois informa-nos acerca da profundidade do espaço no mundo real.

Perspectiva Linear

De um modo geral, a perspectiva é a projecção numa superfície bidimensional de um fenómeno tridimensional. Isto é exactamente o que acontece na retina – a tridimensionalidade do real projectada na superfície bidimensional da retina. Basicamente podemos descrever este fenómeno pela definição de um ponto central que serve de referência para a projecção de planos. Sempre que há uma diminuição aparente do tamanho dos objectos, ou quando estes se aproximam do eixo óptico referencial (linha de horizonte), são interpretados como mais ou menos distantes do observador (Aumont 1990).

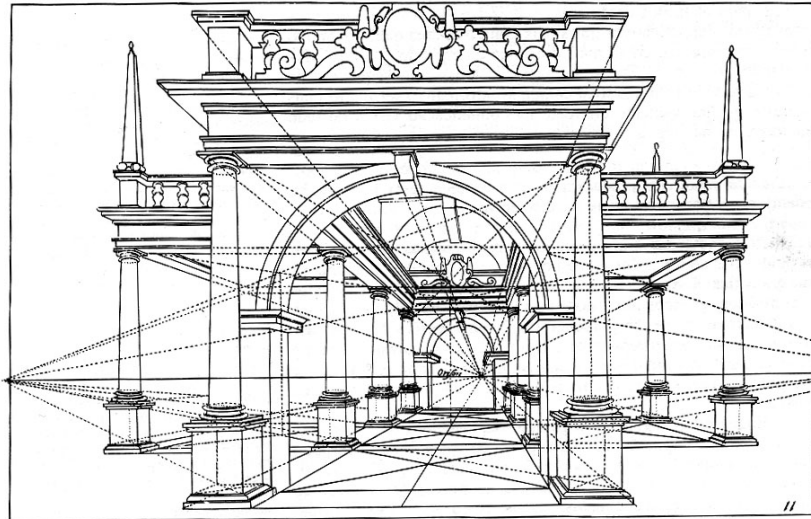


Figura 2.2.1
J.V. de Vries. "Perspective pars altera", 1604-1605

As leis que regem os fenómenos ópticos são conhecidas desde a Antiguidade⁷. O modelo geométrico de perspectiva linear do nosso tempo, precedente da geometria "euclidiana", é resultante de inúmeras racionalizações teóricas e aperfeiçoamentos técnicos que desde há muito têm influenciado de forma indelével a civilização ocidental nas mais variadas actividades humanas, desde as ciências até às artes visuais, sendo a *câmara obscura* o exemplo mais significativo.

Por fim, salientamos o facto da impossibilidade de reverter o processo quando as imagens tridimensionais se reflectem no plano bidimensional da retina. Isto acontece porque as projecções retinianas, em determinadas circunstâncias, são formalmente ambíguas, não permitindo revelar a verdadeira forma dos objectos tal como se demonstra na figura 2.2.2. Geralmente este "conflito" é ultrapassado recorrendo a outras pistas visuais, nomeadamente aos gradientes texturais, como já vimos, e às variações de iluminação, como iremos ver de seguida.

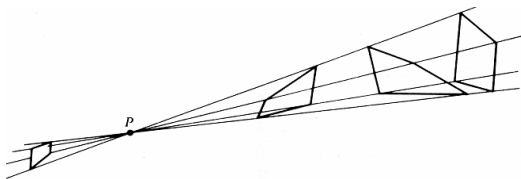


Figura 2.2.2
Apesar dos objectos terem diferentes configurações, geram a mesma projecção retiniana.

⁷ Devido à semelhança operativa entre o olho e a perspectiva linear, na Antiguidade este modelo geométrico era denominado de *perspectiva naturalis*. Não confundir os princípios optico-geométrico em que se baseia a projecção de imagens na retina com os modelos de perspectiva geralmente aplicados em obras pictóricas ou em câmaras fotográficas (Aumont, J. 1990).

Variações de iluminação

As variações de iluminação são importantes pistas visuais sobre a profundidade a que se encontram os objectos. Uma elucidativa experiência visual permite-nos justificar esta afirmação: quando observamos uma paisagem, os objectos mais longínquos têm um aspecto acinzentado ou azulado devido à espessura da atmosfera (tecnicamente denominada de “perspectiva” atmosférica), enquanto que os mais próximos reflectem uma vivacidade cromática mais intensa. Esta diferenciação lumínica é interpretada pelo SVH como um índice de profundidade, permitindo assim calcular a que distância se encontram os objectos.⁸

Em suma, estas são algumas das muitas pistas que permitem fazer do nosso sofisticado instrumento de visão um meio de captura, interpretação e significação do espaço que nos rodeia.

2.2.4 Atenção Visual

Sabemos, sem no entanto perceber ainda muito bem porquê, que a atenção visual representa uma importante experiência sensorial que influencia a forma como vemos e como é executada a obra gráfica. No entanto, o fenómeno da atenção visual, apesar de não ser totalmente explicável, não impede os investigadores de dividir este fenómeno em dois domínios de investigação: atenção central e atenção periférica.

A atenção central é uma espécie de campo visual “magnético”, ou pré-atentivo (tal como descreveu Ulrich Neisser, pai da psicologia cognitivista (Neisser 1967)). Sucintamente, podemos descrever este fenómeno visual como uma faculdade perceptiva que permite ao SVH segmentar o fundo das formas direccionando a nossa atenção, se o desejarmos, para um destes segmentos.

A atenção periférica diz respeito aos fenómenos que ocorrem na periferia do campo visual. Como vimos no capítulo relacionado com a fisiologia do olho, a zona da fóvea é onde se encontra o maior número de receptores fotossensíveis que nos permitem ver com rigor e detalhe. Em redor deste campo, em menor número, estão localizados outros receptores que nos facultam a visão periférica, sendo esta de baixo detalhe visual. Esta mancha visual periférica, muitas vezes denominada de *campo visual útil*, será tanto maior quanto mais simples for o estímulo a registar ou detectar (Aumont 1990).

Na impossibilidade de apreender com detalhe todos os pormenores da imagem que se reflecte na retina, os olhos, através de rápidas movimentações musculares, procuram apreender as diferentes peculiaridades da imagem visual até atingir uma exploração satisfatória.

Este processo de busca é determinado por motivações de cariz perceptivo (focos visuais, contrastes cromáticos, etc.) por um lado, e de carácter cognitivo (indagação acerca do significado das coisas) por outro. Claro está que este comportamento visual está intimamente dependente das

⁸ Esta é, por sinal, uma frequente estratégia pictórica utilizada pelos artistas. Não só esbatem as formas mais distantes do observador como também imprimem um grafismo menos intenso, provocando uma ilusão de profundidade bastante convincente.

motivações à priori do sujeito. Ou seja, o sujeito tem um papel activo na determinação do que pretende ver, logo, os movimentos oculares reflectem estas motivações. Senão vejamos, o olhar do artista investiga os aspectos relacionados com a forma, cor, texturas e composição das imagens, isto motiva um tipo de comportamento ocular bem diferente, por exemplo, do cirurgião quando procura certas e determinadas configurações formais com o intuito de identificar com precisão os órgãos que procura, ou quando observa o comportamento físico do corpo, ou ainda no “registo” de sinais perceptivos que possam ser interpretados como vitais para o metabolismo do paciente.

Esta ideia de sujeito activo, com motivações à priori que determinam a forma como explora o mundo visual, suscitou nos anos 30 um particular interesse para os investigadores. Estas investigações revelaram que, na maioria das circunstâncias, os seres humanos observam as imagens através de sucessivas fixações, em pontos específicos, durante curtos períodos de tempo⁹. Mais concluíram estas pesquisas que este processo de fixação ocular é motivado pelas partes onde a imagem apresenta mais informação, isto é, onde a densidade de informação é mais relevante (Aumont 1990).

Salientamos, acerca do comportamento ocular, os escritos de Arnheim (Arnheim 1957) sobre o “mecanismo” do olhar e a forma como este pode ser previsivelmente condicionado. Vejamos como isto acontece através de um exemplo. Observemos com atenção a figura 2.2.3. Sem qualquer inflexão, podemos afirmar que o círculo negro não está no centro do quadrado. Como concluímos esta afirmação sem recorrer a qualquer instrumento auxiliar de medição rigoroso?

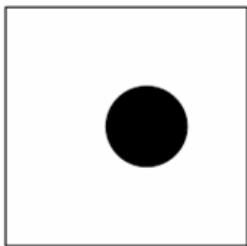


Figura 2.2.3

Arnheim elucida-nos:

- “ (...) ver algo implica determinar-lhe um lugar no todo: uma localização no espaço, uma posição na escala de tamanho, claridade ou distância.” (Arnheim 1969)(pag.4)

Depreende-se desta afirmação a seguinte conclusão: para ajuizarmos a posição do círculo no interior do quadrado é necessário avaliar o “todo formal”, ou melhor dizendo, o campo visual total (círculo e quadrado) e só depois estaremos aptos a fazer um juízo acerca das particularidades formais de

⁹ Este período tempo demora em média 300 mseg (um piscar de olhos demora cerca de 20 mseg). Os tempos de observação ocorrem muito rapidamente. Numa primeira fase, demora cerca de 25 mseg, numa segunda fase 35 mseg e numa fase avançada cerca de 45 mseg, com alguma variação de indivíduo para indivíduo. Durante o movimento, a imagem sofre um desfoque.

cada um dos objectos. Esta afirmação não responde à interrogação colocada anteriormente, mas adianta uma ideia de *todo* que convém desde já reter para compreensão do que se segue.

Observando de novo a figura 2.2.3 sentimos uma “perturbação” visual. A posição do círculo no interior do quadrado cria uma certa “tensão visual”, sugerindo um aparente movimento do círculo, ora atraído para o centro do quadrado, ora atraído para os limites do mesmo.

Mais, se deslocarmos o círculo para um dos lados do quadrado (figura 2.2.4), a atracção entre eles aumenta, anulando a tensão visual anterior. Ao invés, bastaria uma pequena deslocação do círculo para o interior do quadrado e logo se criaria nova tensão visual.

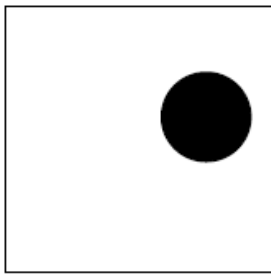


Figura 2.2.4

Esta experiência empírica foi devidamente comprovada pelos estudos experimentais de Gunnar Goude e Inga Hjortzberg (Goude and Hjortzberg 1967)¹⁰. Estes estudos permitiram construir um *esqueleto estrutural* (figura 2.2.5), revelador das possíveis forças que condicionam o nosso olhar, sendo estas responsáveis pelo forte dinamismo visual sugerido por Arnheim.

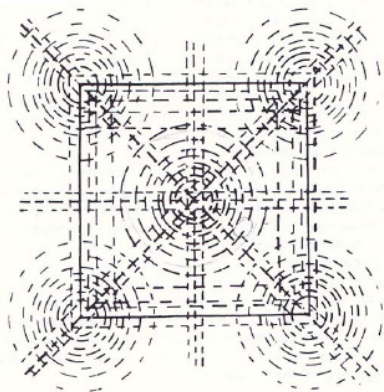


Figura 2.2.5

Esqueleto estrutural. Observa-se nesta estrutura os cinco pontos de atracção que provocam a sensação de dinamismo visual, podendo sofrer alterações em função da composição (Arnheim 1957).

A noção de “todo formal” parece constituir uma contradição relativamente ao exposto anteriormente. Relembramos – “ (...) o olhar não percebe a imagem na sua globalidade mas sim

¹⁰ Ligou-se magneticamente um disco escuro de 4 cm de diâmetro a um quadro branco de 46 X 46 cm. À medida que o disco se movia em direcção a várias localizações, solicitava-se às pessoas que indicassem se ele apresentava uma tendência em alguma direcção e, se tal ocorresse qual a força desta tendência em relação ao espaço do quadrado. A experiência evidenciou uma tendência generalizada das respostas.

através de inúmeras fixações”. De facto, não existe qualquer contradição, bem pelo contrário, temos sim uma complementaridade de procedimentos que faz do sistema perceptivo um mecanismo altamente complexo. Arnheim sugere que o sistema perceptivo se serve de uma espécie de *esqueleto estrutural* para fazer inúmeras avaliações (distâncias entre os objectos, oclusões etc.). Se dissermos que através de sucessivas fixações oculares percorremos as zonas de maior densidade de informação visual (Aumont 1990), percebemos que existe um factor temporal (muito curto é certo) a determinar o fenómeno perceptivo global. Ora, neste âmbito é que está o ponto de complementaridade entre o ver através de sucessivas fixações exploratórias e a memorização destas, para posterior avaliação do *todo formal* sugerido por Arnheim.

Se esta pode ser uma explicação científica sobre o que condiciona a atenção, outras práticas justificam tais conclusões. São disso exemplo os inúmeros tratados de composição visual que os artistas plásticos da Renascença nos legaram: A Regra de Ouro, *Concinnitas*, quadrado de ouro, etc. (Panovfsky 1924). Estes sistemas de composição funcionam como uma espécie de *esqueleto estrutural* do quadro, revelando os “lugares” de importância visual, permitindo ao artista/compositor colocar o âmbito narrativo da imagem no lugar onde estímulo visual é maior.

Certos mecanismos de análise mostram-nos que a relação entre os estímulos externos e o comportamento do olhar estão intimamente associados. Um bom exemplo de uma máquina particularmente vocacionada para este efeito é o *Eyetracking* (ET).

O *eyetracking* é uma máquina que permite monitorizar rigorosamente os movimentos oculares, mais especificamente, os movimentos da pupila. É de tal forma rigorosa esta avaliação que é possível, inclusive (nos dispositivos mais sofisticados), monitorizar o tempo que o olhar despende neste ou naquele lugar do campo visual. Os investigadores na área da percepção visual não tardaram em adoptar o ET como forma privilegiada, não-invasiva de investigação e avaliação do comportamento do SVH.

Destacamos o investigador Yarbus (Yarbus 1967), pioneiro na adopção do ET para o estudo dos fenómenos da percepção visual. Na figura 2.3.1, podemos observar uma das inúmeras experiências realizadas por este investigador. Para esta situação em concreto, Yarbus reuniu um conjunto de pessoas e pediu-lhes para observarem atentamente as imagens **a** e **b** durante um determinado tempo. Entretanto, recorrendo ao ET, monitorizou os movimentos oculares dos observadores. Findo o tempo de observação, o ET gerou dois diagramas (figura 2.3.1 **c** e **d**), que correspondem aos movimentos oculares dos observadores durante toda a sessão.

Concluiu Yarbus, através da análise dos diagramas, que certas zonas das imagens são visualmente mais estimulantes que outras, dado que em determinadas zonas dos diagramas é possível identificar múltiplas fixações do olhar. Logo, depreendeu Yarbus, são zonas de forte estímulo sensorial (Yarbus 1967), ou se quisermos, nas palavras de Arnheim, lugares de forte dinamismo e atracção perceptiva (Arnheim 1957).

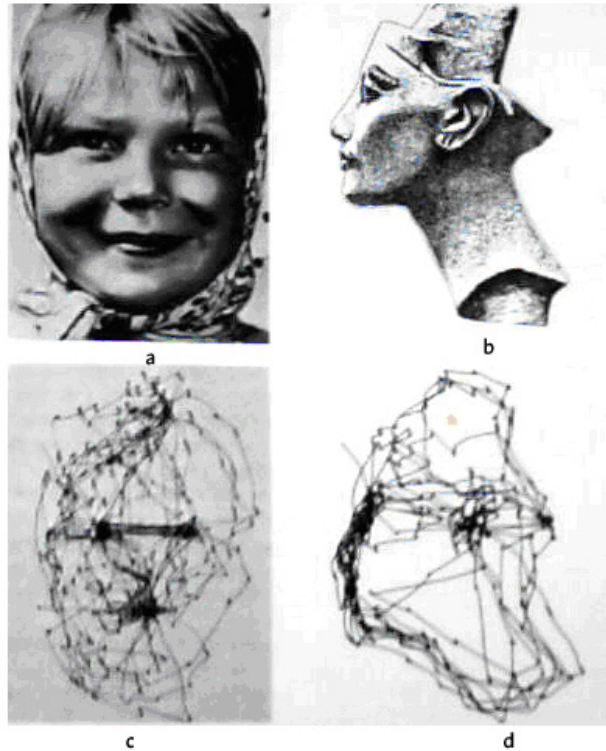


Figura 2.3.1
(Yarbus 1967)

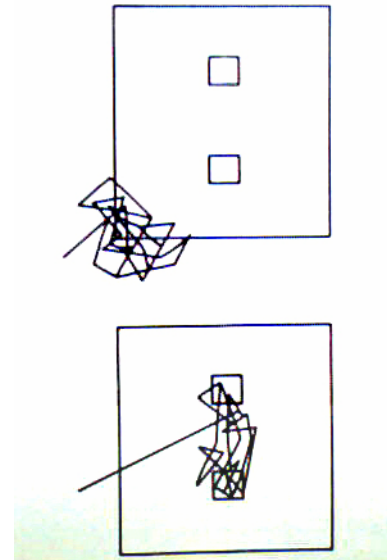


Figura 2.3.2
(Salapatek and Cohen 1975)

Dois outros investigadores, Norton e L.Stark, utilizando igualmente o ET, procuraram as motivações que determinam e orientam o movimento ocular num determinado percurso (*scanpath*). Concluíram que o movimento dos olhos é uma espécie de anel de comportamentos, melhor dizendo, uma alternância sensorial-motor-sensorial (Norton and L.Stark 1971).

Destacamos ainda os estudos de Salapatek e Cohen. Estes investigadores concluíram que o acto de ver pode ser condicionado por um conjunto de factores, nomeadamente, motivações externas, movimento dos objectos, o conhecimento prévio das coisas, o interesse à priori, a motivação inconsciente, etc. As experiências que ajudaram a confirmar estas afirmações consistiam em apresentar dois quadrados a crianças de tenra idade, visto que estas, na opinião dos referidos investigadores, estão ainda perceptivelmente “descomprometidas” (figura 2.3.2). As linhas erráticas que visionamos na figura representam o movimento dos olhos das crianças adquiridas através do ET. Os mais novos concentram-se numa dada região da imagem, negligenciando a configuração dos quadrados centrais, enquanto que os mais velhos procuram perceber os quadrados representados (Salapatek and Cohen 1975). Concluiu-se assim que o olhar tem motivações à priori, independentes da realidade visual.

Tenha-se em conta o olhar treinado de profissionais que dependem das motivações à priori para avaliar e interpretar aquilo que vêem. Por exemplo, os radiologistas, os cirurgiões, os artistas plásticos, etc., porque dependem do olhar, têm um comportamento ocular intenso e especializado.¹¹

Basicamente, um dispositivo de ET é composto por uma câmara que foca, um ou ambos os olhos, e grava o seu movimento enquanto o observador olha para os diversos estímulos apresentados pela imagem. Os mais sofisticados aparelhos de ET permitem localizar rigorosamente o centro da pupila.

Existem diversos mecanismos de ET. Alguns precisam de ser montados na cabeça do utilizador, obrigando-o a manter-se relativamente imóvel. Estes modelos, que condicionam mais os movimentos, são desconfortáveis e podem influenciar os dados adquiridos para análise. Outros dispositivos recorrem a duas câmaras colocadas de frente para o observador, as quais, após serem devidamente calibradas, permitem capturar os mais subtis movimentos da pupila. Estes modelos têm a enorme vantagem de não condicionar os movimentos do observador. No entanto, continuam a exigir que estes se mantenham numa posição frontal.



Figura 2.3.3
Diversos tipos de eyetracking.



Figura 2.3.4
Os resultados adquiridos podem ser avaliados através de manchas (*hotspots*), em que as regiões de maior intensidade visual adquirem uma coloração “quente”, as restantes uma coloração “fria”.

¹¹ Sobre este assunto, destacamos os estudos de Berlyne que identificou dois tipos de percepção exploratória no domínio estético da arte: diversidade e especificidade (Berlyne 1971).

Ao nível das artes visuais, O ET permite abordagens plásticas inovadoras, sobretudo no que concerne às práticas de composição gráfica. Seja na avaliação das qualidades compositoras das imagens criadas (focos visuais, linhas compositoras, equilíbrios formais e espaciais), ou na sugestão de outras possíveis composições visuais. São exemplo as investigações de Santella e DeCarlo. Os quais apresentam uma inovadora solução de simplificação e composição visual (estilização e abstracção fotográfica, nas palavras dos autores) através da avaliação dos movimentos do olhar.

Primeiro, o sistema apresenta uma imagem fotográfica ao observador para avaliar o seu comportamento ocular, recorrendo para tal ao ET. Depois desta avaliação, o sistema gera uma nova imagem apresentando um grande detalhe visual nas zonas de maior incidência do olhar e pouco detalhe visual nas zonas menos interessantes para o olhar (DeCarlo and Santella 2002; Santella and DeCarlo 2004) (figura 2.3.5).

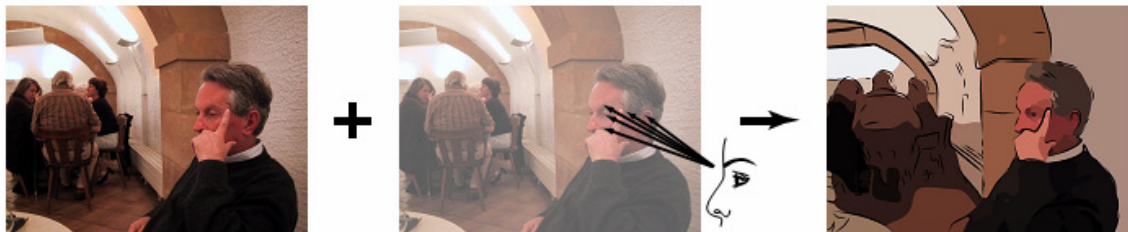


Figura 2.3.5
Stylization and Abstraction of Photographs; DougDeCarlo AnthonySantella.

2.2.5 Percepção das Formas

A partir do momento em que as nossas interrogações acerca da visão vão para além dos aspectos relacionados com o seu funcionamento, passamos a sublinhar a importância daquele que vê, enquanto sujeito, e como este organiza as informações visuais que recolhe. Desta forma, o olhar adquire uma intencionalidade humana, um olhar que procura conhecer o que vê e que sobretudo escolhe consciente ou inconscientemente aquilo que quer ver.

Quaisquer que sejam as imagens que percebemos, estas sofrem sempre uma perda de informação por “compressão” (Aumont 1990). Deve-se este facto às características da retina, que transforma as informações da tridimensionalidade do mundo exterior em projecções planas, bidimensionais.

Igual transformação acontece quando concebemos um desenho com a intenção de representar a realidade visual – primeiro recolhemos informações acerca da tridimensionalidade dos objectos e, num processo de codificação gráfica, convertimos estas informações em projecções bidimensionais. Só um observador apto a decifrar os códigos implícitos nas imagens representadas será capaz de reverter o codificado em novos objectos, construindo assim uma nova realidade visual (Flusser 1998). No entanto, certas condicionantes podem tornar o processo de descodificação das imagens num procedimento difícil

de concretizar: quando as imagens são formalmente ambíguas e as informações visuais são escassas, é difícil determinar infalivelmente o que está representado, como demonstra a figura 2.2.6. Nestas circunstâncias, geralmente é o nosso cérebro que decide o que quer ver. O processo deixa assim de ser unicamente perceptivo e passa a ser também cognitivo.

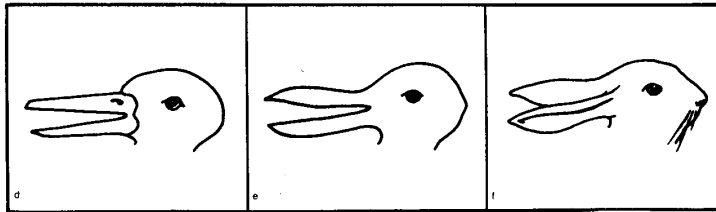


Figura 2.2.6
A figura do meio é um pato ou um coelho?

Sempre que percebemos uma imagem estamos, consciente ou inconscientemente, a assimilar toda a configuração formal da representação (Arnheim 1967; Arnheim 1957). Isto permite-nos, num golpe de vista rápido, decifrar o significado da imagem. No entanto, esta “apressada” percepção do significado produz uma vaga ideia do que vimos e pouco ou nada revela sobre o verdadeiro significado da mesma. Pelo contrário, uma “lenta” apreensão da estrutura da imagem, tecnicamente denominada de *scanning*, permite-nos obter uma percepção global da imagem.

Esta concepção de “forma global” ou “forma de conjunto” (Aumont 1990) evidencia a existência de partes que compõem um todo que por si só determina um conteúdo. Por exemplo, uma linha desenhada num dado papel não é capaz de significar um conteúdo objectivo. No entanto, em conjunto com outras formas gráficas estrategicamente ordenadas poderá ser capaz de significar um rosto.

Propomos uma breve explanação de algumas teorias que têm procurado esclarecer os complexos fenómenos que acontecem no sistema visual. A *Gestalttheorie* é talvez a que mais contribuiu, de forma sistemática, para a compreensão destes fenómenos (Koffka 1970).

A separação figura/fundo

Podemos distinguir no campo visual duas regiões: a figura e o fundo. Estes elementos são separados por um contorno fechado que determina a forma, sendo esta de contraste acentuado e mais próxima do observador. Por outro lado, o fundo é menos perceptível, situando-se atrás da figura.

Certas técnicas gráficas, procurando anular este efeito de distinção visual entre a figura e o fundo, procuram criar composições onde se torna visualmente indistinguível o que é o fundo e o que é a figura. São exemplo disto as técnicas de camuflagem.

As teorias da forma (*Gestalt*) equacionam o problema da figura/fundo como uma propriedade organizadora do sistema visual – toda a forma é percebida em função do “contexto” em que se insere

(Koffka 1922). O simples quadrado na figura 2.2.7 pode ter múltiplas interpretações: se representado na horizontal é visto como um quadrado, se o rodarmos 45 graus é visto como um losango. Ao inserirmos um retângulo na composição, este tenderá a ser visto como um fundo que delimita o quadrado ou, dependendo da sua orientação no espaço, como mais uma forma autónoma.

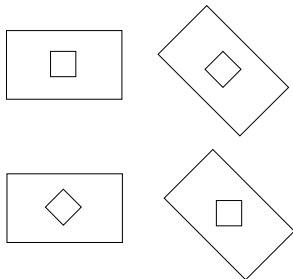


Figura 2.2.7

O contorno das formas

O contorno das formas é das mais significativas informações acerca das propriedades dos objectos. A importância desta informação, no contexto da percepção visual, é comprovada pelos inúmeros estudos realizados (Koffka 1970), (Arnheim 1969). O processo de identificação torna-se muito complicado quando uma imagem, de contornos esbatidos, se apresenta sob uma fraca iluminação ambiente.

Estruturas regulares da forma

Sempre que os nossos olhos se deparam com uma configuração formal, têm tendência para ver uma organizada estrutura de formas. Pelo contrário, a arbitrariedade, a desordem e o caos estrutural criam um certo mal-estar visual, tornando o processo de assimilação visual uma tarefa “incómoda”.

O magnífico trabalho de sistematização apresentado pela *gestalttheorie* sobre as estruturas da forma e como estas se organizam no campo visual são, ainda hoje, uma elucidativa explicação acerca dos fenómenos da percepção visual. De forma pragmática, a *Gestalt* enunciou um conjunto de leis, as quais passamos sucintamente a descrever:

Lei da Totalidade: o todo é mais que a soma das suas partes.

Lei Estrutural: a forma é percebida como um todo independentemente das partes que o constituem.

Lei do Contraste: quanto maior for o contraste entre o fundo e a forma, melhor é percebida a forma (este é o princípio da “boa forma”).

Lei da Semelhança: os objectos similares (tamanho e forma) tendem a agrupar-se, sendo vistos como pertencentes a um mesmo conjunto, formando assim um grupo homogéneo.

Lei da Proximidade: os elementos mais próximos entre si tendem a ser vistos como pertencentes a um mesmo grupo.

Lei da Boa Continuidade: geralmente as formas inacabadas são “naturalmente” lidas como contínuas.

Lei do Fechamento: uma forma será melhor percebida à medida que o seu contorno se fecha.

2.2.6 Percepção da cor

De acordo com a teoria dos três estímulos de Thomas Young, a retina é formada por três tipos distintos de fotopigmentos, especializados em detectar diversos comprimentos de onda.

Um determinado grupo de fotopigmentos especializou-se em detectar comprimentos de onda mais baixos, os quais permitem ver os tons azuis e violetas. Por outro lado, outro grupo de fotopigmentos aperfeiçoou-se na detecção de comprimentos de onda numa certa gama, o que corresponde a ver cores entre os verdes e os vermelhos.

Descoberto este princípio, Young concluiu ser possível ver todas as de cores do espectro visível através da soma das três cores primárias. Este facto não advém das características dos raios de luz mas, pressupôs este investigador, deve-se à existência de três distintos tipos de impulsos nervosos, responsáveis por transmitir as diferentes experiências sensitivas das cores ao cérebro.

Todavia, só um século e meio mais tarde é que os estudos de Young puderam ser confirmados pelas mãos do investigador Hermann von Helmholtz. Este último prosseguiu os estudos de Young, concluindo que o olho humano tem três tipos de recepção de cor, reagindo de diferentes modos aos comprimentos de onda vermelho (R), verde (G) e azul (B). Em comprimentos de onda sensivelmente entre os 380 e os 560nm, correspondem às cores azuis e violetas; comprimentos de onda entre os 560 e os 700nm traduzem-se em cores que vão do verde ao vermelho (figura 2.2.8 e 2.2.9).

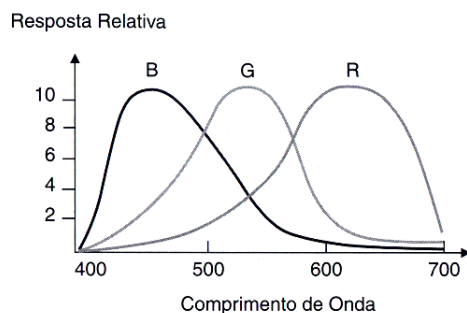


Figura 2.2.8

Violeta	Azul	Ciano	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
380-450	540-480	480-490	490-560	560-580	580-600	600-700

Figura 2.2.9

Comprimentos de onda em nanómetros.

Por esta razão, muitos sistemas de cores utilizam apenas as cores primárias para recriação das restantes. No entanto, cada sistema de cor está adaptado a um contexto particular. Apresentamos

alguns dos mais frequentes: o XYZ, o RGB, o HSV e o HLS. Cada um destes sistemas reproduz um determinado leque de cores, ao qual se convencionou chamar de *color space* ou *color gamut*. Este “leque” cromático é apenas um método de referência que permite quantificar as sensações visuais. Muitos são os benefícios ao representarmos matematicamente o processo de especificação da cor através de um sistema de coordenadas, sobretudo ao nível da computação gráfica.

Vários modelos de especificação de cores foram desenvolvidos, bem como alguns instrumentos de medição, sendo de destacar o gráfico de cores da CIE (Comissão Internationale de l'Éclairage) (figura 2.2.10).

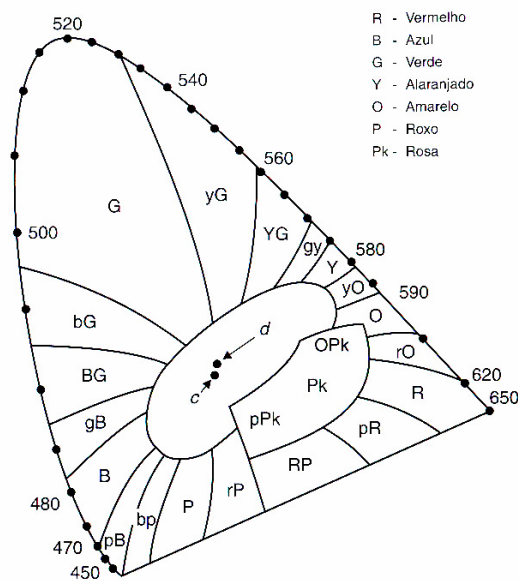


Figura 2.2.10
Gráfico de cores da CIE.

Podemos classificar os sistemas de cor em dois grupos: sistemas de cores aditivos e sistemas de cor substractivos.

Sistemas de cor aditivos (substrato preto)

Estes sistemas são utilizados pelos monitores de televisão e vídeo. A cor, nestes dispositivos, é gerada através da mistura dos diferentes comprimentos de onda, que por si só criam a percepção de diferentes cores.

Convencionou-se chamar este sistema de RGB, no qual o **R** representa o vermelho, **G** o verde e o **B** o azul. Para representação do branco e do preto, o sistema mistura todas as cores ou não transmite qualquer tipo de cor, respectivamente (figura 2.2.11).

Para representação de uma determinada cor (**Y**) numa imagem digital, aplicamos a seguinte equação matemática:

$$Y = p.R + s.G + t.B$$

R, G e B representam as cores primárias e p, s e t representam os coeficientes de mistura de uma das cores primárias. Este processo matemático é aplicado a cada um dos pixels que compõem a imagem digital.

Sistemas de cor substractivos (substrato branco)

Os sistemas de cores substractivos utilizam três cores primárias: ciano, magenta e amarelo (CMY). Geralmente estes sistemas são utilizados em impressoras e outras formas de pintura onde não há emissão de luz. A mistura das cores primárias provoca um efeito de subtracção, ou seja, quando a luz branca atinge o objecto, ela é parcialmente absorvida por ele, e outra parte reflectida até atingir o olho humano. Assim, este é um processo substractivo, pois altera a cor através da subtracção de alguns comprimentos de onda (figura 2.2.12).

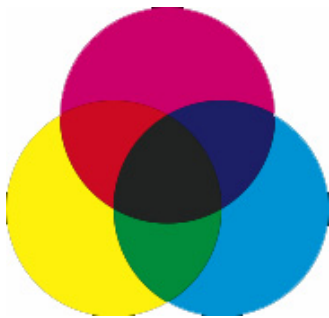


Figura 2.2.11
Sistema de cores aditivos

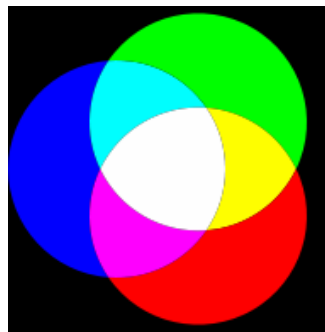


Figura 2.2.12
Sistemas de cores substractivos

Certos sistemas de cor são organizados através de modelos subjectivos de classificação. Por exemplo, o sistema proposto pelos investigadores Munsell e Ostwald (1915) distribui as cores num espaço tridimensional, organizado em função de três atributos: H (Hue) matiz, V (value) brilho e C (Chroma) saturação.

O matiz é representado pelas cores primárias numa configuração circular. Outras cores são misturadas (cores adjacentes), criando-se assim uma variação contínua entre ambas. A saturação (C) é o grau de distância entre uma cor e o centro do círculo (zona onde estão referenciadas as cores neutras). O brilho (V) é representado pelo eixo vertical ao círculo, sendo este representativo da intensidade de luz que uma cor reflecte (figura 2.2.13). Sublinhamos que esta é uma organização subjectiva da cor, baseada numa avaliação empírica das suas propriedades.

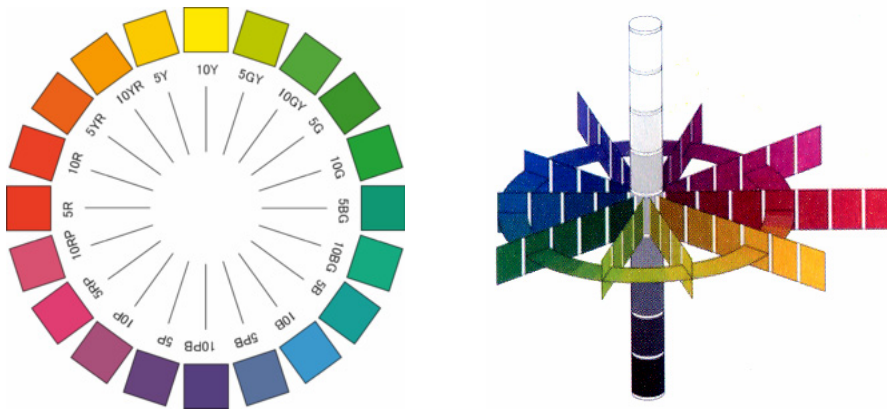


Figura 2.2.13
Sistema de Munsell

Outra particular e também subjectiva forma de organização da cor é o modelo HSV (Hue, Saturarion, Value). Este sistema, desenvolvido por Alvy Ray Smith (1978), baseia-se na descrição e mistura de cores geralmente aplicada pelos artistas. Este sistema organiza as cores num espaço cónico e um subconjunto numa pirâmide hexagonal (figura 2.2.14).

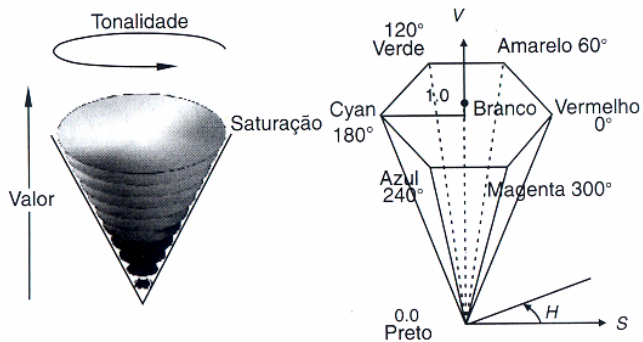


Figura 2.2.14

V representa os tons de cinza.

V=0 e S=0 correspondem ao preto. V=1 e S=0 ao branco. No topo do hexágono encontram-se as cores de maior intensidade.

H corresponde à matiz de cor (0 graus é vermelho e 120 graus é verde).

3. Gramática do Desenho

“ (...) desenho não é matéria, não é corpo, não é acidente de substância alguma, mas que é forma, ideia, ordem, regra, finalidade e objecto do intelecto, onde se expressam as coisas entendidas.”

Frederico Zuccaro (1607)

3 Gramática do Desenho

3.1 Componentes estruturais da linguagem plástica

Neste capítulo procuraremos aprofundar as características formais do desenho como meio de expressão visual. Propomos uma metodologia que se inicia no estudo das propriedades mais elementares do desenho, desde o meio de anotação gráfica, até aos procedimentos técnicos mais elaborados de cariz computacional.

O desenho é constituído por dois elementos principais: os primários - dizem respeito às características formais dos grafismos e a sua relação com o espaço de representação; os secundários - o desenho enquanto meio de representação do tempo, inserido num espaço cultural e social (Massironi 1982).

Este estudo irá apenas debruçar-se sobre os elementos primários do desenho, ao nível das características formais dos sinais gráficos, descurando os elementos secundários por estes se encontrarem fora do âmbito de reflexão deste documento.

3.1.1 A Linha

A linha como meio de anotação simbólico

A linha é a anotação gráfica mais elementar do desenho. A sua expressão resulta do gesto mais ou menos controlado do desenhador.

A simples anotação gráfica de uma linha numa superfície cria, por si só, um conjunto de significações carregadas de valor simbólico. Uma linha pode criar uma separação entre dois planos, pode criar variações tonais entre superfícies, pode definir as fronteiras entre as formas e o fundo, pode representar a linha imaginária do horizonte, etc.

Curiosamente, muitos de nós, mesmo os mais experientes desenhadores, recorrem a esta elementar anotação gráfica por acreditarem ser ela a real expressão daquilo que vemos, mas de facto a linha não existe no mundo visual e a sua utilização no desenho não passa de uma convenção, como bem expressa Goya:

“...mas onde se encontram linhas na natureza? Eu não distingo mais que corpos luminosos e corpos sombrios, planos que avançam e que se afastam, relevos e concavidades.”

Carta para Rosaríto, Goya 1825

Assim, a linha é um vestígio gráfico carregado de sentido, sendo igualmente o reflexo do universo idealizado de quem a fez – o artista.

Todos nós já experimentámos visualmente o efeito expressivo que certos desenhos contêm: trata-se de uma espécie de poder sugestivo, que vai para além da mera anotação gráfica das formas.



Figura 3.1.1



Figura 3.1.2

Senão vejamos: a observação dos desenhos das figuras 3.1.1 e 3.1.2 permite-nos afirmar, sem qualquer embargo, que o seu poder sugestivo resulta da preocupação do artista em captar a subtileza dos movimentos corporais dos modelos, negligenciando a representação formal, os efeitos lumínicos e a tridimensionalidade do espaço envolvente. O artista serviu-se da linha, enquanto elemento primário de expressão gráfica, para “narrar” os movimentos e a agitação corporal dos modelos, resultando daí uma expressão quase caligráfica. O poder sugestivo destes desenhos é de tal ordem marcante que parece que as figuras vão mover-se a qualquer momento.

Já nos desenhos das figuras 3.1.3 e 3.1.4, as linhas, devido ao seu poder sugestivo, deixam adivinhar o comportamento gestual de quem as concebeu, sendo possível aferir as intenções plásticas do artista. Estas obras denunciam uma rigorosa disciplina de observação e compreensão dos aspectos formais, bem como um pausado ritmo de execução, carregado de gestos subtis, onde o erro não é tolerado. De salientar a clareza descritiva alcançada com este tipo de registo gráfico.

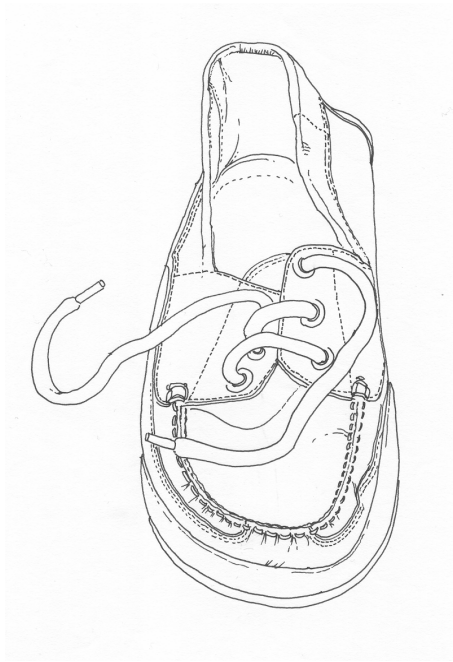


Figura 3.1.3

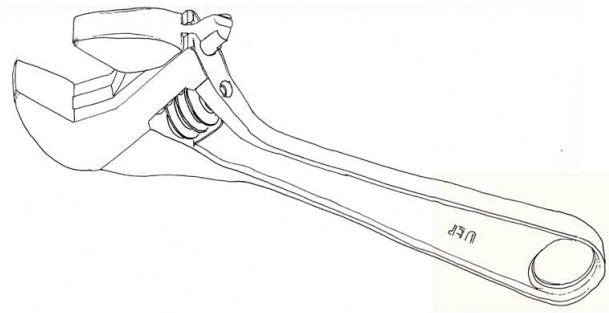


Figura 3.1.4

Tipologias

Linhas de Contorno

As linhas de contorno são a mais típica convenção gráfica dos desenhos. O desenhador, ao inscrever no espaço do papel, teoricamente infinito, uma linha de contorno está a definir uma forma e esta, por si só, cria um conjunto de forças com o espaço envolvente – a definição da fronteira entre a forma e o fundo é apenas uma das consequências mais importantes (Koffka 1970).

As linhas de contorno podem assumir diversas expressões gráficas: linhas definidas por gestos controlados (figuras 3.1.3 e 3.1.4); linhas de contorno pronunciado (figura 3.1.7); linhas que definem a topologia das formas e volumes (figura 3.1.5); linhas de contorno e espessura variável (figura 3.1.1); linhas de grande rigor formal e contornos precisos (figura 3.1.6).

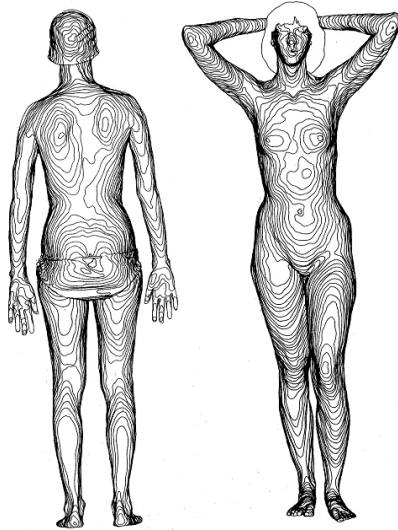


Figura 3.1.5
Desenho topográfico do corpo humano. Desenho por computador (CAD).

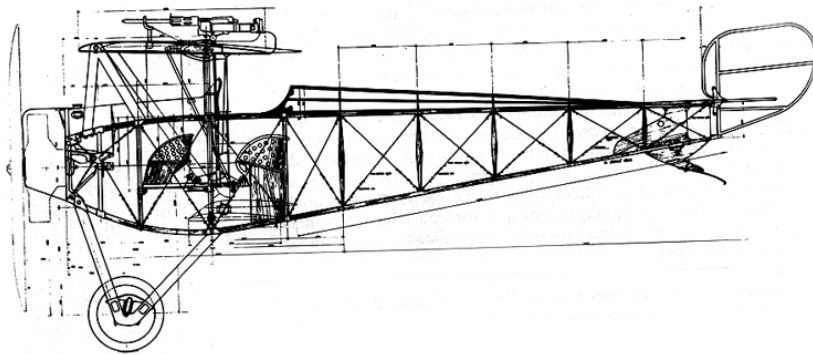


Figura 3.1.6
O desenho mecânico é um meio de expressão gráfico objectivo. Isto porque o processo foi neutralizado, tal como acontece com a câmara fotográfica.



Figura 3.1.7
Mais do que a representação rigorosa do modelo, o artista acentua os traços fisionómicos através de linhas e proporções exageradas.

Em síntese, apresentamos as principais características formais da linha e os aspectos relacionados com a sua execução e aplicabilidade prática, em confronto com as soluções computacionais disponíveis. Sublinho o facto de, numa obra gráfica, poder existir mais do que uma qualidade tipológica de linhas.

	Características formais	Execução	Aplicação	
Linhas	Precisas ou Controladas	Linhas geralmente unidas e de traçados precisos e espessura uniforme.	<p><i>Humana:</i> O gesto é controlado e preciso. A relação entre a observação e a execução é determinante. Não admite erros.</p> <p><i>Computacional:</i> Recorre a linhas geradas por análise representativa (vectoriais), e a meios de impressão mecânicos (<i>plotters</i>, impressoras laser, etc.)</p>	Representação objectiva; Desenhos taxinómicos e exercícios de controlo técnico, plantas arquitectónicas, etc. Esta tipologia é geralmente aplicada em desenhos que requerem uma objectividade precisa e isenta da participação humana. Geralmente, na execução destes desenhos, recorre-se a artefactos auxiliares, como sejam as régua, compassos e mais recentemente os meios computacionais e periféricos de registo associados, de forma a minimizar o efeito gestual e humanamente descontrolado.
	Pronunciadas	Os contornos exageram e distorcem a representação dos modelos.	<p><i>Humana:</i> O gesto é livre e por vezes descontrolado. As linhas obedecem à vontade idealizada do artista.</p> <p><i>Computacional:</i> Soluções de programação que perturbam aleatoriamente o percurso das linhas de forma controlada.</p>	Representações com forte carga expressiva. Ex: ilustração e desenho artístico.
	Topológicas	Linhas verticais e horizontais percorrem a topologia dos objectos definindo a variação de planos.	<p><i>Humana:</i> Requer uma clara compreensão dos volumes e das formas.</p> <p><i>Computacional:</i> Recorre a modelos 3D para definir as linhas topológicas.</p>	Desenhos técnicos e de aprendizagem.
	Espessura variável	Linhas e espessura e contorno variável. São a directa expressão do gesto.	<p><i>Humana:</i> Assemelha-se à caligrafia. Denunciam a pressão do gesto.</p> <p><i>Computacional:</i> Algoritmos simuladores de técnicas e materiais de desenho.</p>	Ilustração, desenho artístico, representação livre, etc.

Linhas Diagramáticas

São linhas que permitem explicar a natureza formal dos objectos. Esta tipologia serve para explicar a estrutura visível e invisível dos objectos, a relação entre os objectos e o espaço tridimensional, como também para definir pontos de intersecção e ângulos e estabelecer relações de proporção entre as diversas formas, tangências, perpendiculares, etc. (figura 3.1.8).

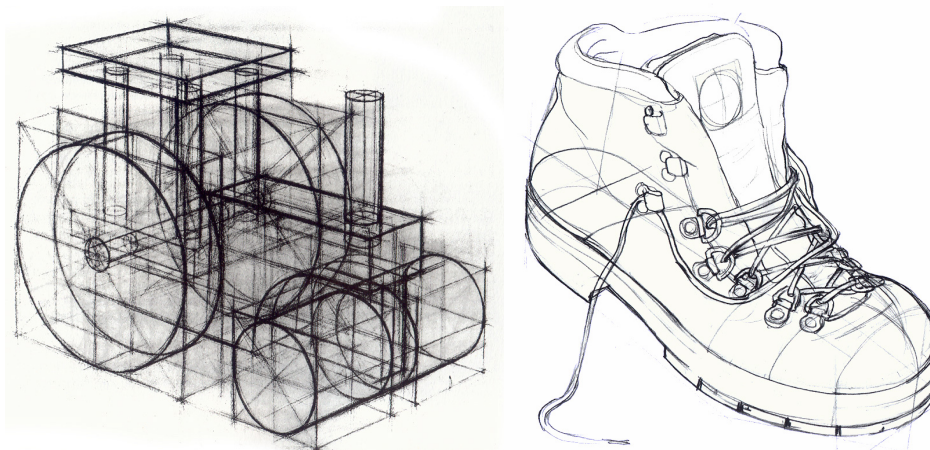


Figura 3.1.8

Linhas Estruturais

São linhas que procuram definir as variações e direcções dos planos que estruturam as formas. Esta tipologia serve para representar formas orgânicas, como por exemplo, o corpo humano, onde a compreensão da estrutura constitui uma tarefa difícil, dada a ausência de linhas de separação de planos.

Numa primeira fase constroem-se planos simples que definem os grandes volumes e consecutivamente os planos vão-se subdividindo em outros mais pequenos, até se encontrar a forma desejada (Betti and Sale 1986) (figura 3.1.9).



Figura 3.1.9
Três típicas fases de desenho (Civardi 1994).

3.1.2 A linha - Paradigma Computacional

A linha (depois do pixel) é a forma mais elementar de representação gráfica em ambientes computacionais. Com linhas, podemos gerar superfícies simples (círculos, quadrados, elipses, triângulos) e superfícies complexas de aparência orgânica.

A representação de um segmento de recta em computação gráfica é particularmente simples, requerendo apenas um ponto de início e um ponto de chegada. Estes pontos são, geralmente, definidos através de um sistema de coordenadas (x,y) ou (x,y,z) , para espaços bidimensionais e tridimensionais, respectivamente.

Representação de linhas curvas através de pontos

Este modelo conceptual foi proposto inicialmente por René Descartes em 1637. Descartes denominou por coordenadas cartesianas um conjunto de pontos (x,y) . Essas coordenadas representam, a distância do ponto até às duas linhas perpendiculares ao eixo referencial (figura 3.1.10).

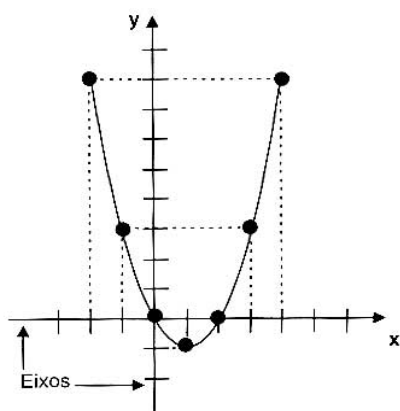


Figura 3.1.10

Sistema e coordenadas cartesianas para a representação de linhas curvas através de pontos.

Este processo de representação é computacionalmente dispendioso, pois quanto maior for a resolução pretendida para a curva mais pontos são necessários para a definir, seja através de marcação de pontos intermédios ou por interpolação.

Representação de linhas curvas por análise representativa

A geração de linhas curvas através da análise representativa é uma estratégia, ao contrário da geração por pontos, menos exigente ao nível dos recursos computacionais e mais ágil na manipulação das mesmas. Isto porque não é necessário recorrer a uma grande área de armazenamento de coordenadas e os pontos a criar para refinamento da curva são exactos e não interpolados.

Torna-se mais fácil definir e transformar (escala, rotação e translação) a linha matemática porque esta é determinada analiticamente, no seu conjunto e não por meio de pontos intermédios.

Estas formas de representação da linha em ambientes computacionais são frequentemente utilizadas em soluções de desenho onde se exige objectividade nos traçados (CAD). É o caso dos desenhos de diagramas, plantas, etc., em que estes apresentam um elevado grau de perfeccionismo gráfico que lhes confere um aspecto asséptico, mecânico e estéril.

Se com facilidade os sistemas CAD criam linhas de contorno precisas, que primam pelo rigor geométrico dos traçados, o mesmo não podemos afirmar em relação aos desenhos de esboço gerados por mão humana, geralmente caracterizados por um conjunto de linhas irregulares e de intensidades variáveis.

Neste sentido, vamos procurar expor algumas considerações formais que permitam orientar o arquitecto de sistemas de desenho na procura de soluções algorítmicas capazes de gerar linhas de aparência livres e gestuais. Definimos seis princípios elementares que caracterizam a plasticidade dos desenhos de esboço, são eles:

O efeito de linearidade

Poucos artistas são capazes de desenhar uma linha recta sem que o seu braço sofra qualquer oscilação. Isto acontece, por um lado, devido às fibras do papel que desviam continuamente o percurso do material riscador e, por outro, à incapacidade motora do desenhador em controlar o gesto.

Imprevisibilidade gráfica

A expressão de cada linha é sempre uma entidade única e irrepetível, não fosse esta gerada por humanos. A simulação desta característica plástica em modelos algorítmicos é determinante para conferir aos modelos veracidade expressiva. Tomemos o exemplo da figura 3.1.11. A distribuição das linhas na imagem **a**, com o objectivo de informar acerca da volumetria dos objectos, tem uma espessura e uma densidade controlada. Já na imagem **b**, as linhas são criadas através de uma rotina que provoca uma certa arbitrariedade formal notada ao nível da espessura, posição e comprimento das linhas, conferindo assim, a esta última imagem, um efeito de desenho mais verosímil, devido ao efeito de imprevisibilidade gráfica.

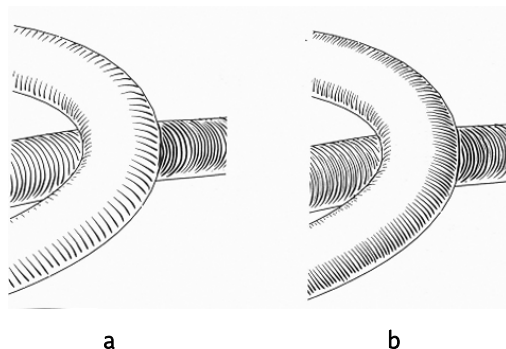


Figura 3.1.11

Variações gráficas irregulares

Os desenhos executados por mão humana são formalmente irregulares, quer isto dizer, as intensidades tonais e a distribuição das múltiplas linhas pela superfície do desenho são irregulares. Esta é de facto uma característica intrínseca de todos os desenhos humanos, que assim se distinguem de outros modelos mecanizados, geralmente de formas e intensidades regulares.

Se o objectivo for a simulação de desenhos de esboço em ambientes digitais, é indispensável a aplicação de factores de variação gráfica irregular para garantir um efeito “humanizado” e, de forma inversa, destruir o efeito “mecanizado” (figura 3.1.12 e 3.1.13).

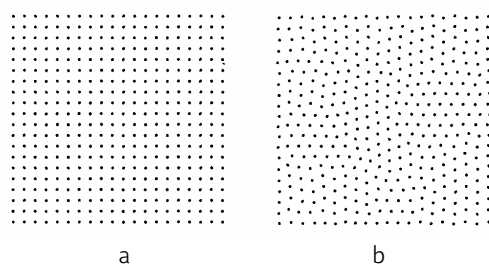


Figura 3.1.12

É perceptivamente mais “humana” a representação gráfica da figura **b**, que a regularidade “mecânica” da figura **a**.

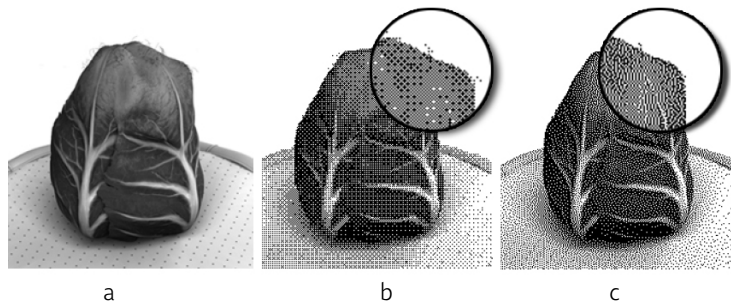


Figura 3.1.13

A irregularidade na distribuição dos pontos da imagem **c** cria visualmente um efeito mais “agradável” e menos artificial (imagem **b**).

Comprimento das linhas

Quanto maior o comprimento da linha, maior a dificuldade em controlar o gesto, logo mais oscilações gráficas.

Espessura e intensidade das linhas vs velocidade do gesto

A espessura e a intensidade das linhas estão dependentes da pressão e velocidade do gesto – quanto maior a velocidade do gesto maior a intensidade do traço e da espessura.

Extremidades da linha

As extremidades das linhas sofrem alterações formais em função das propriedades dos materiais de desenho e da velocidade do gesto – um gesto mais lento num suporte muito absorvente cria linhas com extremidades mais dilatadas e o oposto acontece quando se faz um gesto mais rápido sobre um suporte menos absorvente.

Se os princípios acima enunciados forem aplicados em rotinas computacionais com intenções de simular desenhos tradicionais, permitirão gerar traçados de aparência mais humanizada. Vejamos um exemplo simples e elucidativo de como a aplicação destes princípios em rotinas computacionais criam modelos gráficos mais “humanizados”.

Um exemplo gerador de linhas de aparência gestual



Figura 3.1.14

Analisemos o seguinte pseudo-código gerador da linha da figura 3.1.1.4:

```
// definição de variáveis
coordenadas = (x1,y1) ; (x2;y2)
Densidade da linha = d
cor da linha = c
do condição n {
função linha () {
define ponto inicio (x1,y1);
x2 = x2 random ()*5 // coordenada de chegada aleatória;
d= d random() * 3 // densidade variável;
}
Desenha função linha () }
// fim condição n
```

Este exemplo recorre a rotinas de programação que definem múltiplos pontos de início e de chegada (x,y) e rotinas que expressam a densidade da linha a criar. Estas variáveis sofrem alterações em função de uma rotina aleatória (*random*). Outras soluções algorítmicas podem ser implementadas, como, por exemplo, o grau de *random* em função do comprimento da linha, diversas tonalidades de linhas para simular o gesto mais ou menos incisivo, etc.

São claramente perceptíveis na linha da figura 3.1.14 os cinco princípios que caracterizam as linhas geradas por mão humana. Bastará a alteração de algumas variáveis para que a linha adquira outra

expressão gráfica. Este exemplo pretende apenas criar uma simples expressão linear, no entanto outras plasticidades (texturas, absorção do suporte, simulação de outros media) poderão ser implementadas, aumentando assim, ainda mais, a “veracidade” plástica da linha.

Outras formas de representações gráficas em ambientes computacionais

Baseado no princípio de que sinais gráficos lineares permitem anotar certas esquematizações operativas (figura 3.1.15) (Massironi 1982), certos sistemas gráficos servem-se deste princípio para gerar desenhos. Simples sinais gráficos despoletados pelo utilizador, por exemplo, o desenho de uma cadeira recorrendo a simples representações lineares, poderá despoletar imagens de cadeiras com informações tridimensionais, permitindo assim a exploração completa do objecto em questão (Zeleznik, Herndon et al. 1996) (Figura 3.1.16).

Outro exemplo é o trabalho de Matsouka Igarashi. Estes autores criaram um método capaz de gerar malhas geométricas através de representações lineares (silhuetas), desenhadas pelos utilizadores (Figura 3.1.17) (Igarashi, Matsouka et al. 1999).

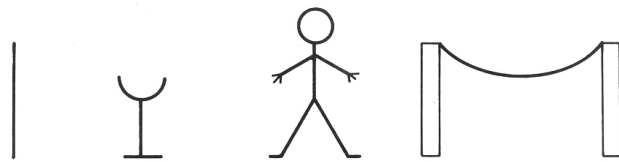


Figura 3.1.15
Alguns exemplos de representações lineares em que os grafismos assumem o valor de objecto: taça; pernas; braços; etc.

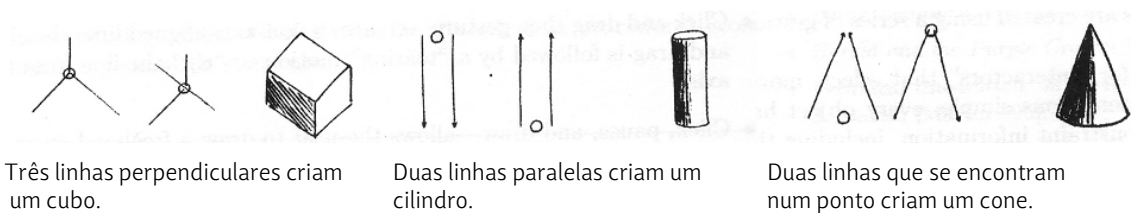


Figura 3.1.16
Apenas alguns exemplos de grafismos lineares geradores de objectos (Zeleznik, Herndon et al. 1996).

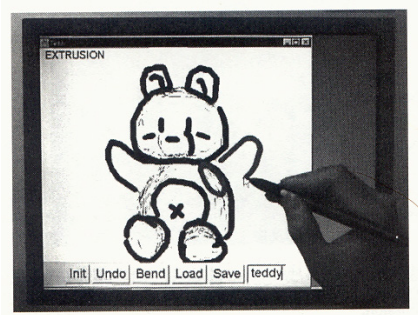


Figura 3.1.17
O sistema “Teddy” permite criar simples modelos tridimensionais através do desenho de simples silhuetas (Igarashi, Matsouka et al. 1999).

3.1.3 Texturas

As texturas gráficas que compõem um desenho são um conjunto de marcas, anotações e sinais. Estes conjuntos gráficos resultam das propriedades dos materiais riscadores dos suportes e (ou) de diversos processos técnicos, que permitem ao desenhador a representação de uma enorme variedade de expressões visuais: imitação das mais variadas texturas das superfícies (cimento, veludo, pedra, etc.), e outros efeitos gráficos associados – opacidade, fenômenos físicos da luz através de texturas claro-escuro, etc.

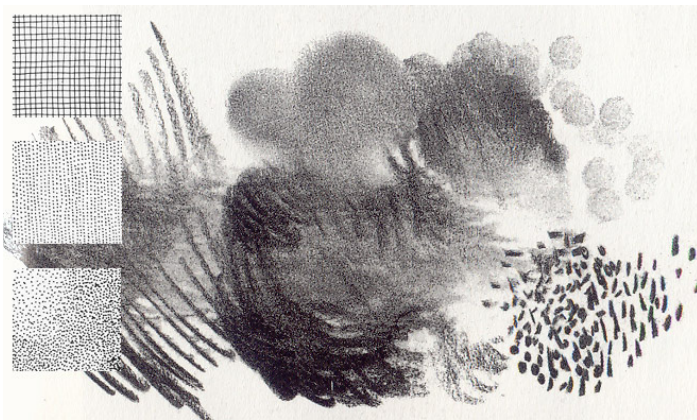


Figura 3.1.18

A textura é um elemento de extrema importância no desenho, ela organiza as formas e expressões visuais (Massironi 1982).

Para reforçar a importância da textura na obra gráfica, proponho a reflexão sobre a seguinte afirmação: “Podemos imaginar o toque da uma superfície através da visão, como também podemos imaginar a aparência de uma superfície através do seu toque.” (Betti and Sale 1986).

Esta afirmação denuncia a intrínseca relação perceptiva existente entre a visão e o tacto. Cabe ao desenhador procurar enriquecer a sua obra com anotações gráficas que permitam evocar esta relação de ausência / presença perceptiva, criando dessa forma uma obra rica e expressiva esclarecendo-se a assim a importância da textura na obra gráfica.



Figura 3.1.19
De destacar a riqueza plástica das texturas nesta obra de Vicent Van Gogh (1843-1890).

Para melhor compreensão das potencialidades expressivas das texturas, proponho uma metodologia de análise dividida em dois momentos: *sistematização tipológica das texturas*, num primeiro momento e *avaliação das intenções gráfico-plásticas das texturas*, num segundo momento.

Texturas, sistematização tipológica

Podemos agrupar as texturas, quanto à sua tipologia, em dois subgrupos: texturas/tramas e texturas/mancha.

Texturas/tramas – São texturas geradas por um conjunto de linhas e (ou) pontos, mais ou menos afastados entre si, por vezes cruzados (no caso das linhas) (figura 3.1.20).

Texturas/manchas – São texturas geradas por manchas mais ou menos uniformes e de tonalidades variadas que preenchem uma determinada superfície (figura 3.1.21).

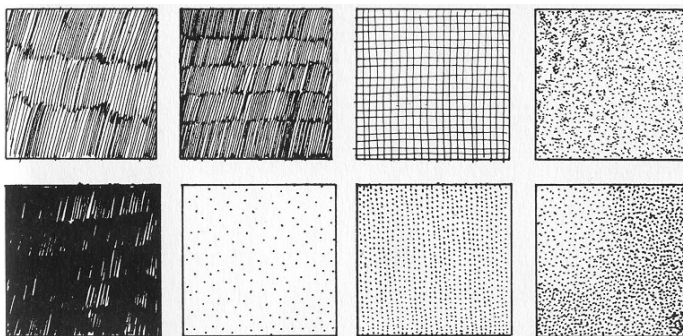


Figura 3.1.20

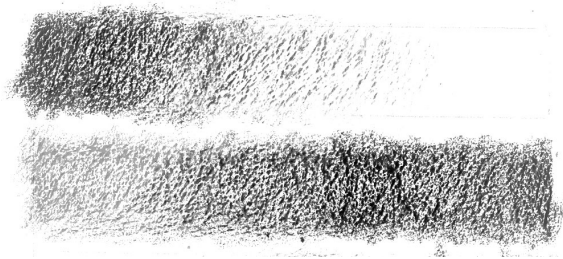


Figura 3.1.21

Texturas com intenções gráfico-plásticas

Podemos agrupar as texturas com intenções gráfico-plásticas em três subgrupos: texturas de superfície, texturas fenomenológicas e texturas plásticas.

Texturas de superfície – são texturas que imitam os fenômenos físicos das superfícies do mundo real através de múltiplas variações tonais de claro-escuro simulando o efeito visual de luz, sombra e penumbra (figura 3.1.22).

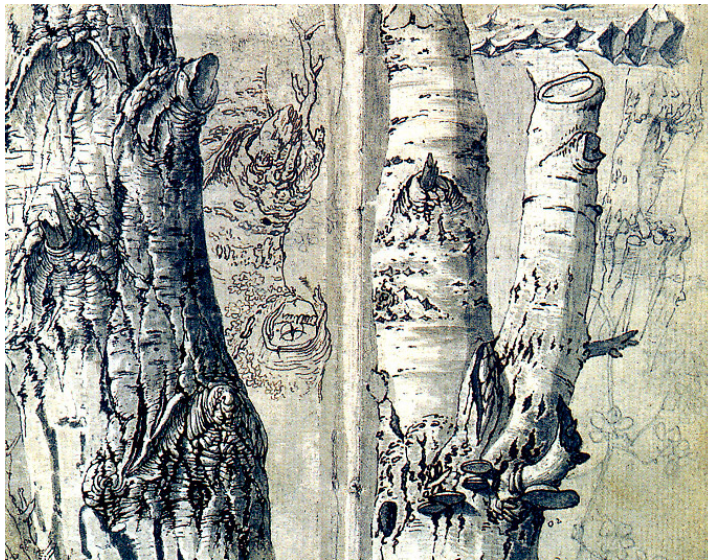


Figura 3.1.22

Representação minuciosa das texturas de superfície dos troncos das árvores. Caneta, tinta e pedra negra Paulus Potter (1625-1654).

Texturas plásticas – São texturas que resultam das propriedades físicas dos suportes e materiais riscadores: granulidade e dissolvença dos médios, respectivamente (figura 3.1.23).

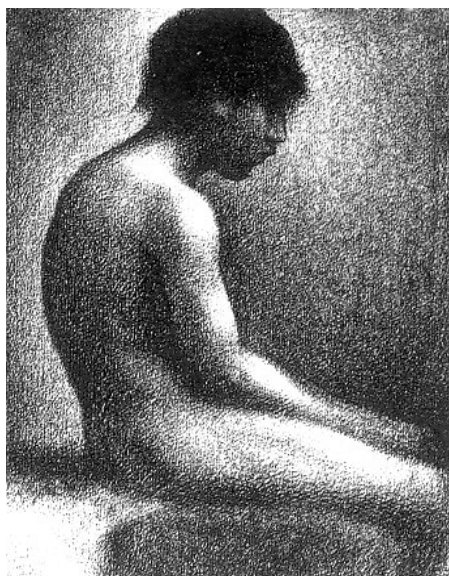


Figura 3.1.23
Rapaz sentado 1983/84 Georges Seurat.



Figura 3.1.24
s/titulo Pedro Brito 1997.

Texturas expressivas – Mais ou menos dependentes das intenções gráfico-plásticas do desenhador, estas texturas resultam do processo intrínseco ao desenho: criação de zonas de contraste visual; criação efeitos rítmicos; preenchimento de superfícies de desenho; destaque da forma do fundo; etc. (figura 3.1.24).

Apresentamos de seguida um conjunto de princípios que qualificam a plasticidade das texturas permitindo, dessa forma, orientar uma possível implementação das diferentes tipologias de texturas em modelos algorítmicos.

- As texturas são um conjunto de linhas e pontos e manchas.
- As texturas representam os valores tonais das superfícies. A tonalidade é uma propriedade importante para aferir um conjunto de dados do cenário: direcção da luz, tipo de luz (foco, ambiente, reflexões) e ponto de observação.
- A orientação das texturas denuncia a geometria dos objectos.
- As dimensões do suporte e a resolução do monitor determinam as dimensões das superfícies texturadas.
- Condição implícita: quanto maior o número de linhas e (ou) pontos e (ou) manchas que compõem as texturas, maior o grau de intensidade tonal e vice-versa.
- As texturas simulam os fenómenos visuais de sombra, penumbra e luz. Logo, representam a veracidade do mundo visual.
- As texturas devem ser usadas com alguma parcimónia, sob pena de transformar o desenho numa composição monótona, tal o excesso de informação.

3.1.4 Texturas – Paradigma computacional

Este capítulo apresenta um conjunto de soluções técnicas para a aplicação de texturas a superfícies e mapas adequados à simulação dos diversos fenómenos visuais.

Em computação gráfica existem três tipos de texturas: texturas procedurais 2D e 3D; texturas uniformes e texturas mapeadas por imagens.

A importância destes procedimentos em sistemas de desenho regista-se a vários níveis: simulação de texturas de diversos suportes de desenho; simulação das diversas expressões gráficas dos materiais riscadores; efeitos expressivos; etc.

Texturas procedurais 2D e 3D

Como as texturas procedurais são resultantes de operações matemáticas, é possível realizar operações de ampliação de imagem (*close-up*) sem perda de qualidade visual. Por este facto, as texturas procedurais são o meio técnico adequado para aplicações que exigem processamento em tempo real (mundos virtuais) e cenários de grandes dimensões com elevada complexidade geométrica.

A aplicação de texturas procedurais envolve um conjunto de operações – criação de texturas procedurais e aplicação sobre as superfícies previamente definidas. Nos objectos 3D, o processo de aplicação das texturas procedurais obedece aos mesmos procedimentos mais os cálculos de posição no espaço do objecto 3D. Esta última informação permitirá seccionar os volumes 3D e logo a textura procedural se adequará à nova estrutura recém criada.

Existe no mercado software que permite construir texturas procedurais com um alto nível expressivo. Estes tipos de software, geralmente denominados de *shaders*, conciliam uma série de vantagens técnicas:

- são simples de usar e não requerem qualquer tipo de conhecimentos ao nível da programação;
- permitem a conjugação de inúmeras texturas provenientes de diversos meios de captação – texturas *bitmap*; transparências; fractais; texturas de cor, etc.;
- as texturas são organizadas através de um sistema de hierarquias e a simples mudança de posição de uma textura recria de imediato uma nova textura gráfica. Tudo isto num modelo de interface WYSIWYG, totalmente parametrizado;
- possibilitam a aplicação de filtros de desfoque, correcção de cor e de contraste.

Por exemplo, a textura representada na figura 3.1.25 é o resultado de um mapa procedural padronizado, conjugado com duas texturas de cor (verde / cinzento) e um algoritmo de ruído procedural.

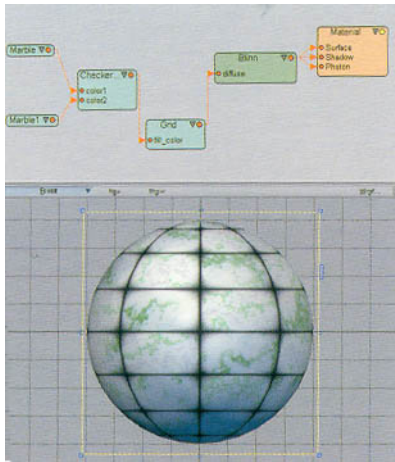


Figura 3.1.25

Mapeamento de texturas (*texture map*)

Este método de mapeamento foi desenvolvido por Catmull (E.Catmull 1978) e mais não é do que a aplicação de texturas em superfícies de objectos tridimensionais com recurso a arquivos de imagens.

Certos procedimentos têm de ser previamente definidos para a correcta aplicação destes mapas:

- Orientação da textura na superfície a aplicar.
- Relação de escala entre a superfície e o mapa.

Como o mapa de texturas é constituído por um conjunto de mapas de *bits*, o processamento é consecutivamente mais elevado, pois cada pixel tem de ser calculado em função das alterações de luz e cor da superfície. Porém, este método dispensa a modelação detalhada da malha dos objectos. É portanto, uma forma de evitar a utilização exaustiva de complexas geometrias.

Para trabalharmos com mapas de texturas é fundamental termos um bom programa de tratamento de imagem, pois desta forma é possível gerar um infindável número de texturas em função das nossas necessidades e também recorrer a bibliotecas de texturas disponíveis na web.

Mapa de relevo (*bump map*)

Bump Map é uma variante do mapeamento de texturas (Blinn and Newell 1976). Para a sua implementação, junta-se ao mapeamento de texturas uma outra camada que vai influenciar a direcção da normal em todos os pontos da superfície, criando assim um desvio no cálculo da luz reflectida.

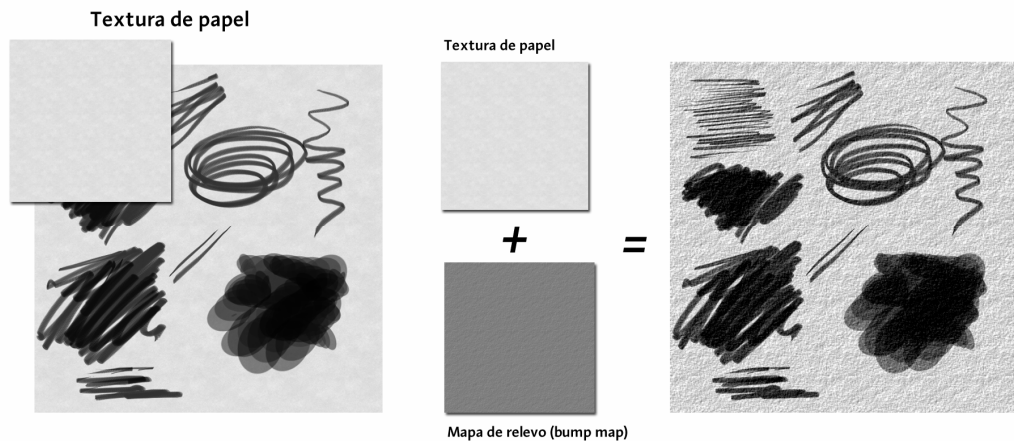


Figura 3.1.26

Nesta imagem podemos observar a aplicação de uma *texture map* e um *bump map* para simulação da textura/relevo de uma superfície de papel.

Mapeamento UVW

Como a maioria dos mapas que simulam as texturas são bidimensionais (2D) e como estes são aplicados a superfícies tridimensionais (3D), torna-se necessário um sistema de coordenadas de mapeamento (SCM) que permita o posicionamento e transformação dos mapas 2D no espaço.

Como o SCM é diferente do sistema de coordenadas dos objectos (SCO), convencionou-se referenciar o SCM pelas letras UVW. A letra U corresponde ao X do SCO e representa a direcção horizontal do mapa; V equivale à letra Y e representa a direcção vertical do mapa; W representa a letra Z e corresponde à direcção perpendicular do plano UV. Esta última coordenada é sobretudo usada em mapas procedurais 3D ou para rodarmos os mapas na superfície dos objectos.

A maioria dos sistemas de modelação 3D possui um conjunto de objectos “primitivos”, os quais têm já definido o seu SCM. Já todos os objectos modelados pelo utilizador ou adquiridos através de digitalizadoras 3D requerem a aplicação do SCM.

Mapa de cor

Os mapas especulares permitem o cobrimento de superfícies. Quando procuramos simular o preenchimento de superfícies com uma textura tipo lápis de desenho este é o melhor método. De salientar o facto do mapa de cor não conter qualquer informação sobre a origem do ponto de luz, sendo esta última adquirida através de mapas especulares.

Mapa de transparência

Os mapas de transparência permitem simular fenómenos visuais de transparência e semi-transparência. Estas simulações são obtidas através do seguinte procedimento:

- Criação de uma imagem a preto, onde as tonalidades escuras representam as áreas opacas e (ou) semi-opacas das superfícies e as tonalidades brancas as zonas transparentes das superfícies;

- ao mapa anteriormente definido, convencionalmente chamado de canal *Alpha*, adicionamos os canais de cor vermelho, verde e azul se se tratar de um sistema RGB, obtendo desta forma uma superfície com zonas transparentes, semi-transparentes e opacas.

Vejamos um exemplo de como os mapas de transparência podem contribuir para a simulação de superfícies texturadas.

A imagem **a** (figura 3.1.27) representa um conjunto de linhas que simulam um tradicional material de desenho. De salientar o facto dos grafismos conterem um conjunto de tonalidades de cinza e preto.

Esta imagem servirá como mapa de transparência da superfície, bem como textura de base (mapa de cor).

Se dispusermos adequadamente os dois mapas - mapa de transparência **b** mapa de cor **c** - obtemos a imagem **d**. Aparentemente o resultado não parece ter alterado a imagem, no entanto porque a imagem **d** contem zonas de transparência, podemos sobrepor outros grafismos e outras superfícies, recriando assim, no seu conjunto, múltiplas camadas com diferentes superfícies texturadas (figura 3.1.28).

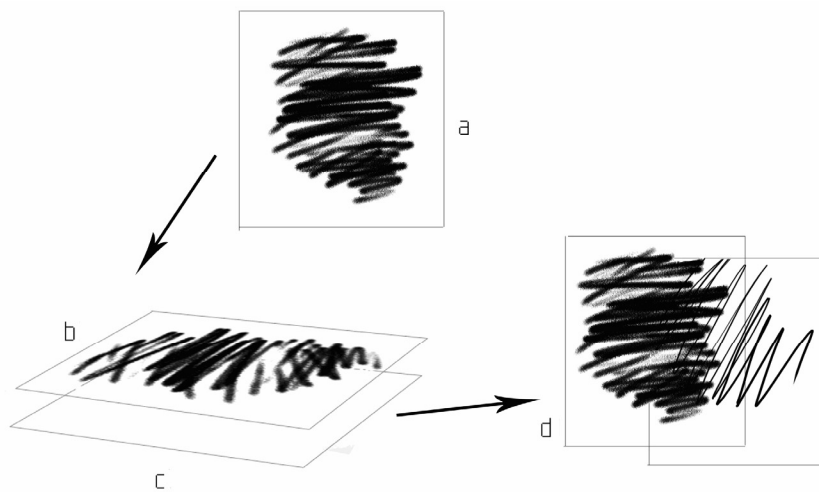


Figura 3.1.27

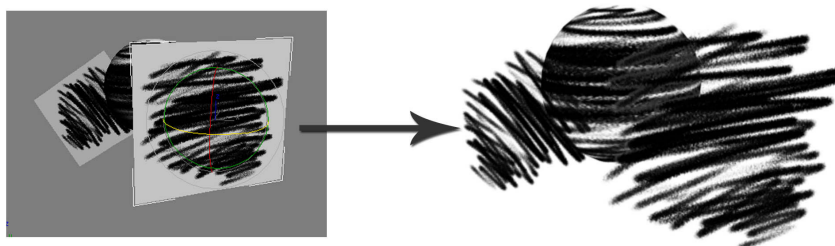


Figura 3.1.28

3.1.5 A forma

“A forma é a configuração visível do conteúdo”, Ben Shahn (Shahn 1957)

A forma de um objecto é a configuração daquilo que ele é: as suas dimensões; a sua textura; etc. As formas podem ser divididas em duas categorias: geométricas e orgânicas.

Formas geométricas são criações matemáticas. Estão incluídas nesta categoria os quadrados, rectângulos, triângulos, ovais, elipses, etc. Este tipo de formas, por serem regulares e matematicamente possíveis são extremamente simples de criar em ambientes computacionais¹².

Formas orgânicas, por vezes denominadas formas livres, são configurações irregulares, descritas através de múltiplas linhas e marcas. São os desenhos executados por mão humana que melhor as representam. A simulação destas formas através de modelos algorítmicos é um desafio para as comunidades de investigadores em NPR.

A forma é também o contorno exterior do objecto, enquanto que o fundo é o espaço que o envolve fazendo ressaltar a forma. Assim, as formas transmitem ideias, mas é o fundo que lhes dá sentido, porque as destaca (Arnheim 1969).

Formas fechadas

Certas formas parecem estar contidas dentro de si próprias: tudo ocorre dentro deste espaço e pouco ou nada se projecta para o seu exterior. Este tipo de forma é de tal ordem fechada que se isola totalmente do exterior, criando um profundo contraste entre a forma e o fundo.

Formas abertas

As formas abertas são a antítese das formas fechadas. Nestas não existe espaço interior da forma ou, pelo menos, não é claramente expresso. Estas formas não estão isoladas do fundo que as circunda mas sim penetra-o.

3.1.5.1 Propriedades dimensionais das formas e a sua aplicabilidade em modelos de computação gráfica

Podemos classificar as formas, ao nível das suas propriedades dimensionais, em três categorias: unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

As formas unidimensionais (1D) dizem respeito a marcas que apenas têm uma dimensão. Esta é uma construção teórica impossível de concretizar no espaço de desenho, apesar de se ter convencionalizado que o ponto é uma forma unidimensional.

¹² Em desenho assistido por computador geralmente denominam-se estas formas geométricas por primitivas.

As formas bidimensionais (2D, largura e comprimento) são representadas basicamente pelas linhas que adquirem o estatuto de forma.

As formas 2D representam uma importante fonte de extracção de informações para os sistemas CG. Através deste recurso é possível adquirir informações acerca do contorno das formas e posição das mesmas no espaço de composição, permitindo com elas gerar grafismos NPR (figura 3.1.29).

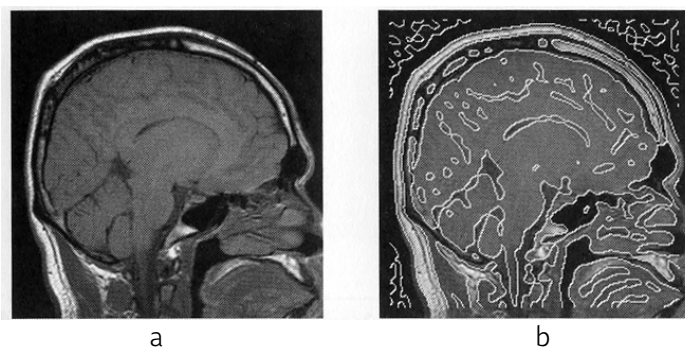
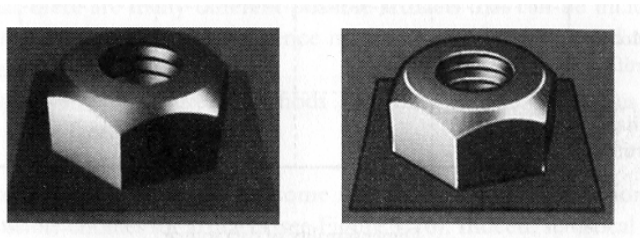


Figura 3.1.29

Recorrendo a um algoritmo de detecção das variações de intensidade tonal na imagem **a** pode-se representar várias linhas de contorno **b**.

Certas representações bidimensionais contêm mais do que as simples informações de largura e altura. Observemos com atenção a figura 3.1.30. Na imagem **a** podemos ver uma porca metálica representada de forma realista. Uma observação mais cuidada permite-nos apreender outras informações visuais: sombras próprias e projectadas; difusão lumínica; oclusões entre as duas formas (mesa e porca), diferentes graus de profundidade, etc. Tudo isto numa superfície bidimensional. Não é de espantar, afinal há muito nos habituámos a ver este fenómeno perceptivo nas fotografias. E se, tecnicamente, fossem atribuídas às formas bidimensionais estas informações? Foi exactamente este o trabalho de Saito Takahashi (Saito and Takahashi 1990). Estes autores segmentaram as diversas propriedades das formas, permitindo o acesso a estas consoante os objectivos do programador. Este modelo convencionou-se chamar de *G-buffer* e o resultado desta segmentação permite a criação de formas gráficas, como mostra a figura 3.1.30 **b**.

Como estas formas bidimensionais contêm informações muito para além do comprimento e largura, mas como são ainda assim formas bidimensionais, convencionou-se chamá-las de 2D $\frac{1}{2}$ (Schofield 1994; Strothotte and Schlechtweg 2002).



a

b

Figura 3.1.30

As formas tridimensionais (largura, comprimento e altura) dizem respeito aos volumes. A escultura é uma forma tridimensional.

As formas a três dimensões, mais do que quaisquer outras, contêm preciosas informações acerca da geometria dos objectos. Para além das informações *G-buffer* anteriormente referidas, outras estão disponíveis, a saber:

- informações sobre a estrutura geométrica do objecto;
- informações acerca da profundidade dos objectos em relação ao ponto de observação e, consequentemente, a distância a que os objectos estão entre si.

Estas informações possibilitam a aplicação de certos efeitos visuais, como a recriação de efeitos de profundidade, através da variação da espessura das linhas – quanto mais perto do observador maior o grau de espessura dos traçados (figura 3.1.31).

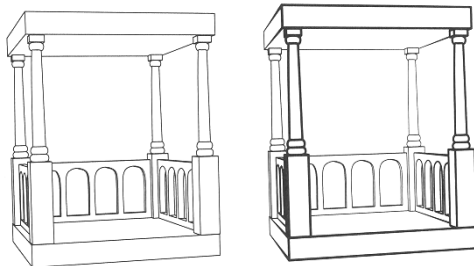


Figura 3.1.31

Concluindo, as categorias dimensionais permitem executar um vasto número de operações de cariz técnico-expressivo fundamentais para a recriação de inúmeros fenómenos visuais. Para integral compreensão destas categorias dimensionais e o tipo de variações expressivas que permitem, apresentamos uma tabela de referência (figura 3.1.32).

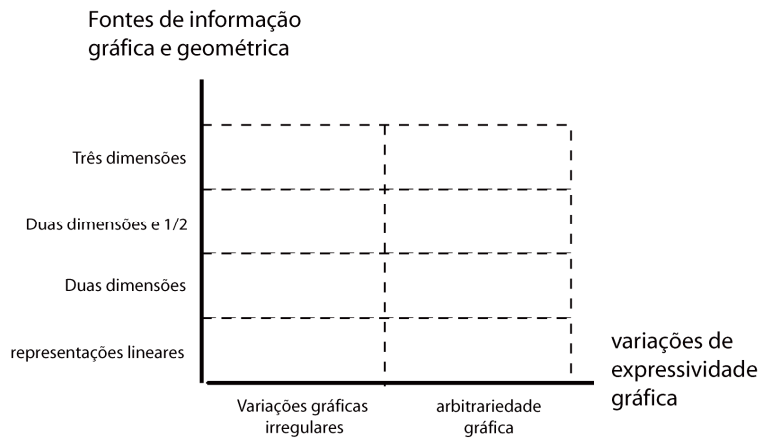


Figura 3.1.32

3.1.6 Luz, Sombra e Penumbra

Quando, perante um desenho, somos capazes de identificar as zonas de luz, penumbra e sombra, é porque ele contém um conjunto de variações de brancos, cinzentos e negros que preenchem a sua superfície. Estas variações são denominadas de valores tonais.

Dizemos que os objectos estão muito iluminados quando vemos a superfície do suporte de desenho; na penumbra, quando uma leve camada de cinza preenche uma determinada área do desenho; em sombra, se for intensa a camada de negro. Esta convencional interpretação dos fenómenos lumínicos representados no desenho através de valores tonais é consequência do empenho de quem fez a obra e de quem a observa:

- De quem fez a obra, porque soube representar, de uma forma engenhosa, a luz e a sombra dos objectos através de um conjunto de valores tonais de claro/escuro.
- De quem vê, porque é capaz de compreender os valores tonais enquanto meio de representação das variações luminosas do mundo visual.

Mas o desenhador não se limita apenas a copiar fenómenos visuais. Em muitas situações, os fenómenos visuais “desafiam” o poder engenhoso e criativo do desenhador. Por exemplo, quando um objecto em sombra está perante um fundo negro, torna-se muito difícil distinguir a sua volumetria, bem como os seus contornos. Se o desenhador se limitasse a representar as intensidades luminosas que observa, não conseguiríamos perceber o objecto em questão. É necessário recorrer a soluções gráficas que resolvam esta dificuldade. Assim, o artista vai procurar mediar entre a realidade do que vê e as exigências técnicas impostas pela obra gráfica, procurando realizar uma obra cheia de vitalidade expressiva, mas também uma obra “autêntica” no que concerne à representação formal dos objectos e, se tal for objectivo do desenhador, criar uma obra fiel à realidade visual.

O valor, enquanto meio de expressão gráfica, permite descrever quatro propriedades fundamentais dos objectos: a luz que o objecto reflecte, o seu peso, a estrutura e a relação com o espaço.

O valor pode ainda ser expressivamente descritivo. Observemos duas obras onde podemos confirmar a função objectiva e subjectiva do valor enquanto meio de expressão gráfica.

A figura 3.1.33 representa um conjunto de valores tonais propositadamente definidos para representar uma infinidade de fenómenos visuais: a superfície líquida do olho; reflexões; a suavidade tonal da pele; as rugas pronunciadas, a modelação subtil dos volumes e das variações de luz, etc. O resultado culmina numa representação realista, onde o valor, enquanto meio de expressão gráfico, tem uma função objectiva.

Já na figura 3.1.34, o valor desempenha uma função subjectiva. As variações entre os brancos e os negros são extremos, provocando um maior grau de intensidade lumínica; os braços de tons claros, o tronco e as pernas de intensos tons negros e o fundo de tons claros criam, no seu conjunto, um pronunciado efeito de tridimensionalidade. Desta forma, o desenhador exalta a expressividade da obra, através da valorização de uma grande amplitude de valores tonais, em detrimento da objectividade formal.

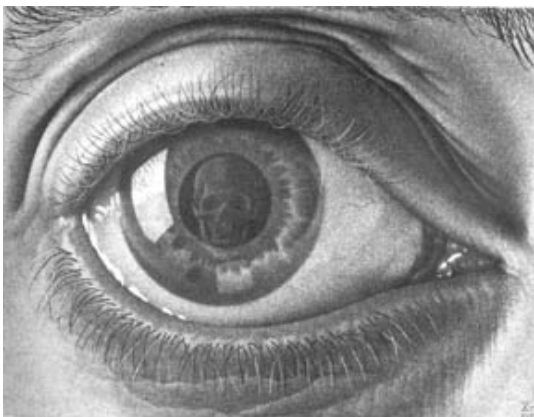


Figura 3.1.33
Escher – Obra Gráfica.



Figura 3.1.34
Homem esperando, Sydney Goodman.

Passamos a analisar a importância do valor enquanto meio de descrição das propriedades físicas dos objectos.

O valor descreve a luz, sombra e penumbra

Esta é provavelmente a mais importante propriedade gráfica do valor enquanto meio de descrição estrutural.

Basta iluminarmos um conjunto de objectos através de um ponto de luz vindo, por exemplo, da esquerda para a direita, para identificarmos a estrutura dos objectos, a sua volumetria, bem como as

qualidades das suas superfícies. Isto provoca um efeito de luz, penumbra e sombra nos objectos. O registo destas intensidades, através de um conjunto de valores tonais, criará um efeito de espacialidade ilusória.

Quando diversos pontos de luz iluminam a composição, o contraste entre a luz e a sombra esbate-se, passando a predominar as zonas de penumbra. Em situações de extrema iluminação perdem-se as zonas de sombra e penumbra, o que confere um aspecto bidimensional e ambíguo às formas e aos espaços na composição.

O valor descreve o espaço

A descrição do espaço através de valores tonais pode ter diversas manifestações gráficas: espaços vazios em contraste com a tridimensionalidade dos objectos; escalas de valores em *degradé* para simular efeitos de profundidade gradual, entre outras.

O valor descreve o peso

As sensações empíricas de peso, gravidade e tensão são propriedades físicas que todos nós experimentamos no mundo real. Em determinadas circunstâncias, estas sensações têm de ser expressas no desenho: o peso e densidade da pedra, do ferro; a tensão de um corpo sobre uma perna; o peso de um conjunto de objectos; etc.

Neste sentido, o desenhador tem de encontrar uma solução gráfica que lhe permita representar estas sensações empíricas, sob pena de, se o não fizer, desvirtuar a realidade do representado.

Assim, o desenhador utiliza uma das soluções gráficas mais recorrentes: preenche com valores tonais intensos os locais onde ocorrem fortes sensações de peso, tensão ou densidade. Em contraponto, preenche os locais de menor peso visual com valores tonais claros. Isto cria, no seu conjunto, um forte contraste visual.

3.1.7 Luz e Sombra - Paradigma Computacional

A representação da luz nos meios tradicionais de registo não requer uma compreensão profunda dos fenómenos físicos de radiação. O artista recorre aos seus olhos para avaliar a realidade e repercute essa experiência empírica através dos tradicionais meios de registo. Já em computação gráfica, a representação da luz, sombra e penumbra é determinada por um conjunto de soluções algorítmicas previamente declaradas, baseadas nos fenómenos físicos de radiação.

Luz

Os modelos de luz, ou se quisermos, de iluminação em computação gráfica, por mais simples que sejam, consideram sempre várias componentes (Foley, Dam et al. 1990).

Luz ambiente

Este tipo de iluminação é proveniente de várias reflexões e o seu valor de intensidade é constante em todas as direcções.

Reflexão difusa

A maioria dos objectos presentes num cenário não são emissores de luz, mas sim reflectores. A reflexão difusa baseia-se no princípio de que a intensidade de uma fonte de luz pontual reflectida numa superfície depende do ângulo de incidência conforme a lei de Lambert (Foley, Dam et al. 1990)

Sombras

As sombras em computação gráfica são originadas por modelos de sombreamento ou, em alguns casos, de iluminação local. Adoptamos o termo sombreamento por ser o que melhor se adequa à terminologia adoptada neste capítulo.

Os modelos de sombreamento procuram representar e controlar os factores que determinam a cor de uma superfície, a intensidade de luz e o sombreamento em cada pixel da imagem.

De uma forma geral, os algoritmos de sombreamento procuram reproduzir as leis físicas da radiação lumínica e respectivas reflexões nos objectos. No entanto, devido a condicionantes de processamento computacional, certas soluções são readaptadas para melhorar a velocidade de cálculo, sem descurar a qualidade dos resultados.

Existem diversos modelos de sombreamento: sombreamento constante, plano, Gouraud, Phong, Blinn, Lambert e raytracing. Devido à especificidade dos modelos NPR, apenas referiremos os modelos de *sombreamento plano* e *Gouraud*.

Sombreamento Plano

Tal como os valores tonais conferem à superfície a sensação de volumetria, o sombreamento plano determina uma superfície de aparência 3D. Este modelo tem em conta as informações sobre a iluminação ambiente para gerar o sombreamento. O resultado é uma superfície sombreada mas com certas irregularidades lumínicas, sobretudo nas transições de planos, mas associado a uma rápida velocidade de processamento (figura 3.1.35 a).

Sombreamento Gouraud

Henri Gouraud, propôs um método de sombreamento alternativo ao modelo anterior (Gouraud 1971). Esta técnica de sombreamento, denominada de intensidade de sombreamento interpolado, calcula a intensidade de cada vértice e distribui-o, através de interpoladores lineares, pelos outros pontos da superfície. Isto cria um sombreamento suave em toda a superfície, muito idêntico a uma superfície tonal em *degradé* (figura 3.1.35 b).

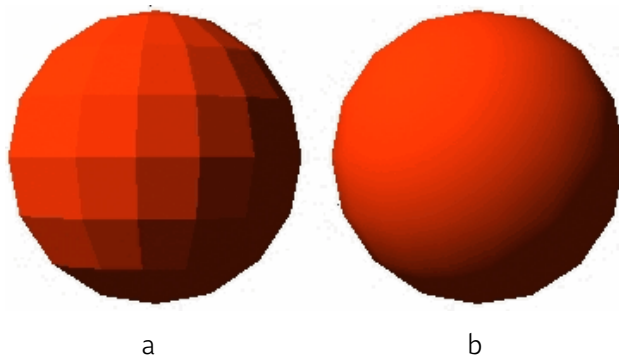


Figura 3.1.35
O modelo de sombreado plano não apresenta um realismo satisfatório (a), ao contrário do modelo de sombreado Gouraud (b).

O recurso a modelos de interpolação para a definição de sombras cria um conjunto de artificialismos indesejáveis em imagens realistas. Todavia, em modelos não realistas podem ser usados para criar certos procedimentos técnicos. Destaco o *Efeito de Sombra Descontinuada* - por mais refinada que seja a interpolação aproximada, não permite disfarçar as transições de planos, provocando desta forma um efeito de sombra descontinuada. Este artificialismo poderá servir como um excelente meio de estudo dos objectos, pois assim podemos compreender a sua estrutura, bem como as variações tonais que ocorrem na sua superfície.

4. Procedimentos

“A ideia ou a visão existem, mas entre a cabeça e a mão trava-se uma luta. Às vezes passam-se coisas curiosas, porque temos o desejo de pintar algo e simultaneamente aparece algo diferente, o que não importa, vem como surpresa.”

Vieira da Silva

4. Procedimentos

4.1 Desenho analítico

“Tratem a natureza através de cilindros, esferas e cones”(Rewald 1995)

Desenho analítico é uma técnica de representação que recorre a um conjunto de traçados geométricos, mais ou menos regulares, no sentido de registar a volumetria simplificada de um objecto. Este procedimento parte do princípio de que, para percebermos a estrutura dos objectos, devemos primeiro compreender a sua mais elementar forma geométrica. Por outras palavras, se decomposermos o que vemos em formas ou volumes geométricos elementares (cubos, cilindros, pirâmides, etc.), ser-nos-á mais simples perceber a sua geometria, logo mais fácil de a desenhar.

A estruturação dos objectos em volumes elementares deve ser sempre entendida como o ponto de partida de um projecto de desenho (Goldstein 1981; Betti and Sale 1986; Bammes 1995). Outros procedimentos se sucedem, como sejam o refinamento consecutivo dos volumes elementares, o sombreamento, o enfatismo e exclusão gráfica, a simplificação e acentuação. Ocupar-nos-emos destes temas nos próximos capítulos. Agora, analisemos em pormenor as estratégias plásticas do desenho analítico.

Inicialmente desenham-se linhas estruturais que irão definir a correcta orientação linear dos objectos. Plasticamente, estas linhas estruturais apresentam grande expressividade gestual, os traçados utilizados são subtis e pouco marcados. Posteriormente, marcam-se outros traçados que procuram definir a estrutura externa e interna do objecto. O processo fica concluído quando os traçados “acomodam” a configuração do objecto a representar. Este invólucro imaginário define não só a estrutura simplificada do objecto como também a sua posição no espaço, as dimensões e as proporções das partes em toda a configuração.

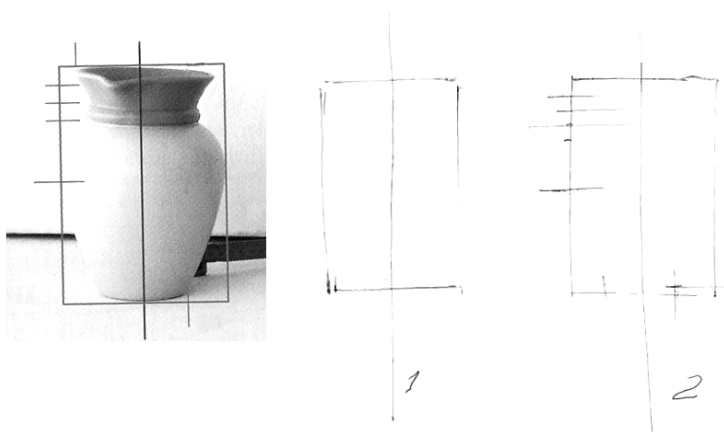


Figura 4.1.1

Esta metodologia projectual é um excelente auxiliar de desenho. Com ela o desenhador pode situar pontos-chave, indicar ângulos, determinar distâncias, expressar relações de tangência e perpendicularidade, etc. São, em síntese, estruturas que representam estimativas visuais sujeitas a contínuas revisões, alterações e retoques.

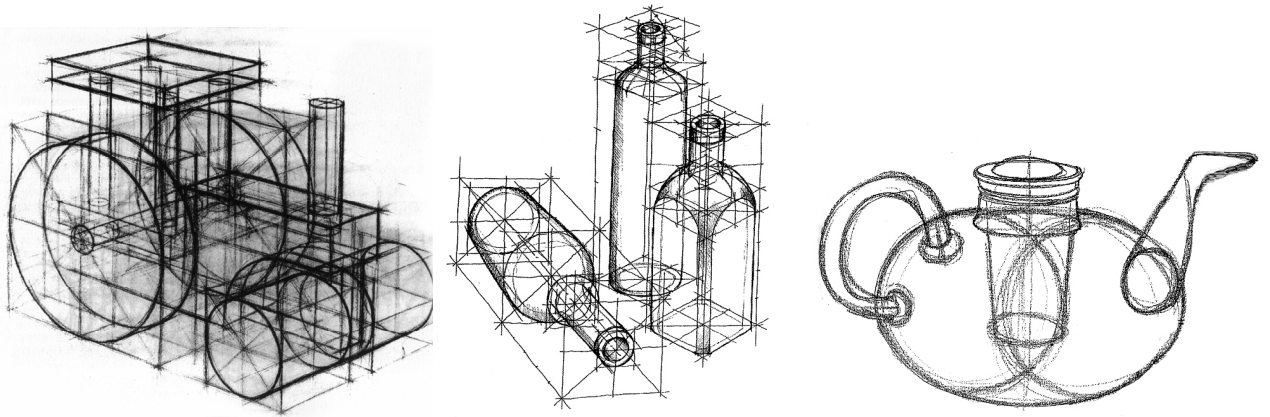


Figura 4.1.2

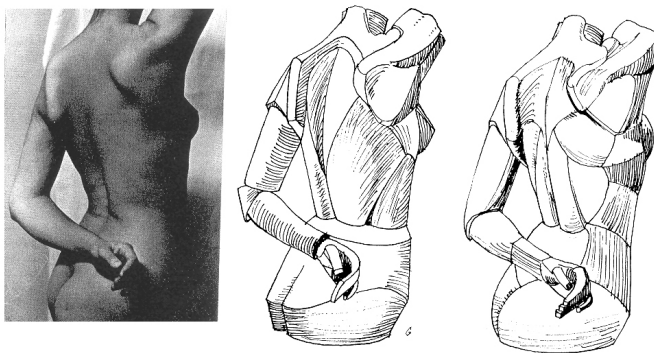


Figura 4.1.3

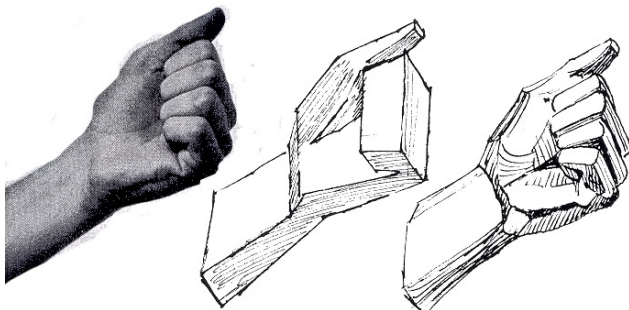


Figura 4.1.4

Um olhar atento e experimentado consegue identificar um conjunto de blocos e superfícies nas estruturas mais complexas como o são as formas anatómicas. O facto do desenhador simplificar os volumes em estruturas menos complexas permite uma correcta definição das formas, mas também um desenho mais expressivo do ponto de vista visual. Exemplo de algumas estruturas que permitem auxiliar o desenhador a compreender as formas e, num processo contínuo de refinamento formal, encontrar a estrutura final.

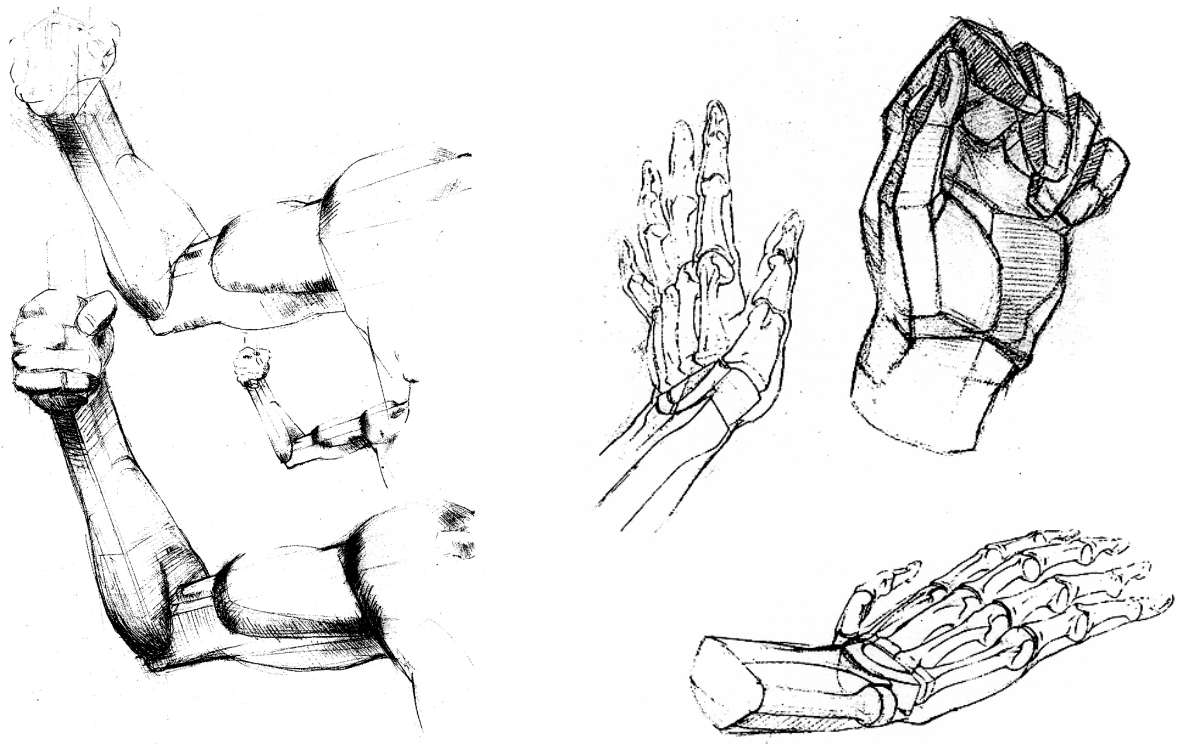


Figura 4.1.5
É bem evidente o quanto o processo de simplificação da estrutura auxilia a compreensão “mecânica” do corpo humano (Bammes 1995).

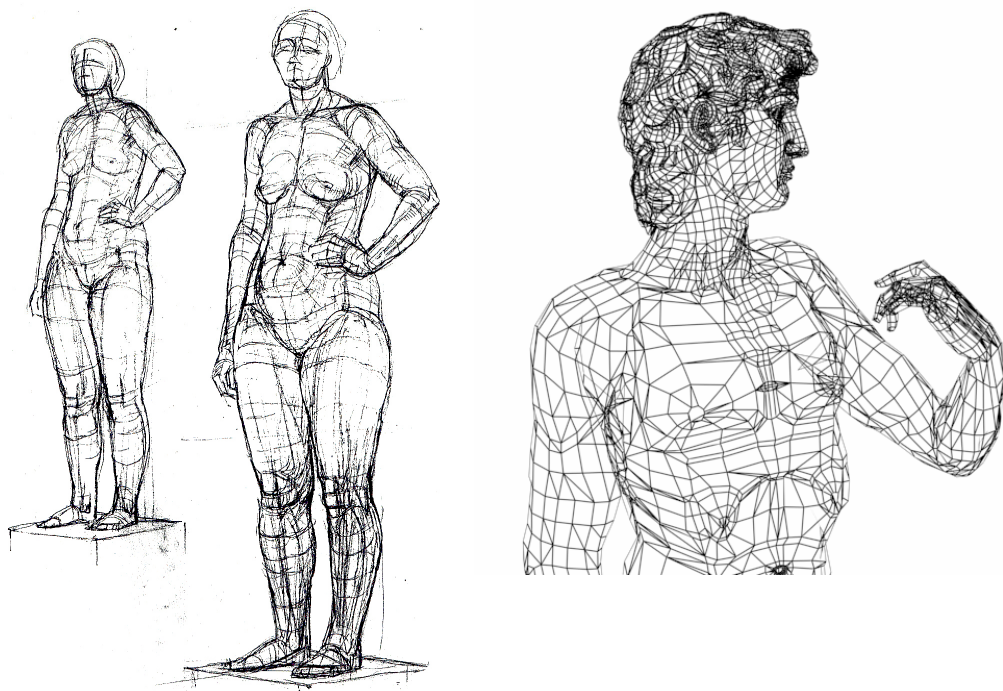


Figura 4.1.6

Figura 4.1.7

Estão patentes, nestas duas figuras, as analogias procedimentais entre o desenho tradicional (figura 4.1.6) e a malha poligonal (figura 4.1.7). No entanto, a Figura 4.1.6 apresenta um conjunto de traçados auxiliares, ao contrário da Figura 4.1.7, o que confere a esta última um aspecto mais asséptico e menos “humanizado”.

De salientar ainda o facto de, mesmo nas obras de desenho já concluídas, ser perceptível a presença das linhas estruturais. Podemos julgar que estas de alguma forma perturbam o “bom desenho”. Nada mais errado. A plasticidade dos traçados confere à obra final uma intensidade gráfica, um reforço da profundidade da imagem que o desenhador atento não descarta na sua obra gráfica. Estes traçados analíticos que ajudaram no processo construtivo da obra denunciam a estratégia gráfica de quem a fez, bem como a agilidade gestual do desenhador.

4.2 Técnicas de modelação geométrica em CG

Existem várias formas de geração de objectos 3D em computação gráfica. Basicamente podemos dividir as técnicas de modelação em duas formas: modelação manual e modelação automática.

O método de modelação automática baseia-se na descrição algorítmica para gerar objectos. Muitas são as soluções computacionais que recorrem a este método. De destacar os efeitos naturais como a turbulência, água, fogo, etc. Certos dispositivos (*scanners* 3D) permitem obter automaticamente um modelo tridimensional de quase tudo.

A modelação manual é considerada o processo mais fácil mas também o mais moroso. Este processo recorre a um conjunto de técnicas de modelação e modificação de superfícies e, não menos importante, à intuição do modelador.

4.2.1 Modelação manual / analítica em ambientes de CG 3D

Apesar das discrepâncias técnicas existentes entre os programas 3D e o desenho tradicional, muitas são, no entanto, as semelhanças operativas que se verificam, seja na inclusão de metáforas relacionadas com o desenho tradicional ao nível da interface gráfica, ou nas rotinas algorítmicas baseadas em procedimentos técnicos usados pelos desenhadores tradicionais.

Sempre que o utilizador de um software 3D reúne conhecimentos ao nível do desenho tradicional e os aplica na construção de modelos 3D, as imagens criadas adquirem uma acrescida qualidade plástica. Isto coloca os softwares de modelação 3D num patamar de privilegiadas máquinas de desenhos, com todas as vantagens inerentes aos meios computacionais: rapidez de execução, duplicação, reversibilidade, etc.

Vejamos sucintamente como se integram os dois domínios técnicos – desenho tradicional e modelação 3D – e como esta integração melhora a qualidade das imagens produzidas.

Para uma melhor compreensão deste fluxo produtivo efectuamos a sua divisão em 2 fases: criação de desenhos analíticos/conceptuais e modelação analítica ¹³.

¹³ Denominamos de *modelação analítica*, tal é a forte analogia com o desenho analítico. Sublinhamos ainda o facto desta linear divisão procedimental apenas servir para melhor compreender a metodologia de trabalho do modelador.

Criação dos desenhos analíticos/conceptuais

Para a execução de um bom trabalho de modelação é imprescindível recorrer a um conjunto de desenhos conceptuais que nos permita materializar o que pretendemos modelar. Estes desenhos conceptuais ostentam plasticamente um conjunto de traçados irregulares, executados por gestos “soltos” que reflectem o “pensamento” visual do desenhador (figuras 4.2.1 e 4.2.2). O principal objectivo destes desenhos é compreender a estrutura e volumetria do modelo, representá-lo em diversas poses e perspectivas e, não menos importante, o estudo dos volumes elementares do modelo em diversos graus de refinamento volumétrico (típico procedimento do desenho analítico tradicional, como vimos anteriormente). Este último procedimento permite ao modelador/desenhador predefinir a possível tipologia da malha poligonal necessária para criar o objecto em 3D.

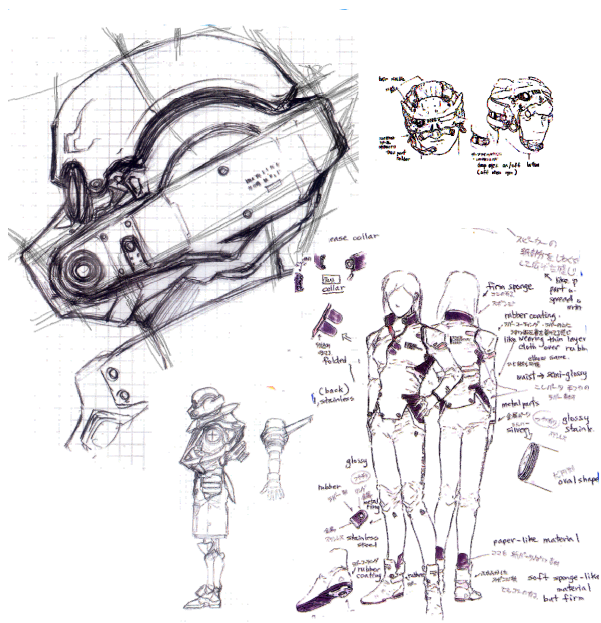


Figura 4.2.1
Desenhos analíticos. Estudo, caracterização e adereços de personagens 3D, volumetrias e outros elementos que caracterizam o modelo (Conceptual drawing “Final Fantasy”).

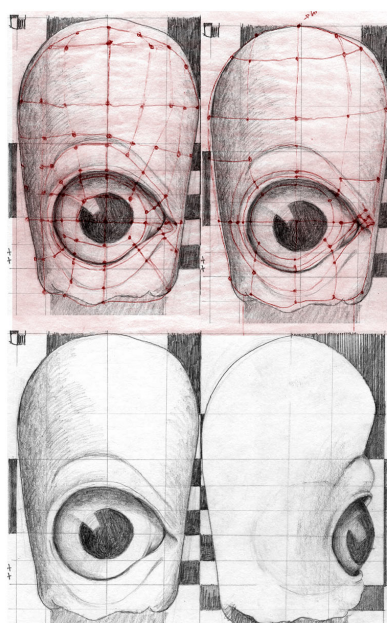


Figura 4.2.2
Desenhos analíticos. Estudo das volumetrias e respectiva malha poligonal.

Modelação analítica em CG

Já no computador, o desenho de perfil e de frente do modelo é aplicado em dois planos perpendiculares entre si. Esta estrutura servirá de referência para a modelação do objecto 3D. De seguida, são criados os volumes “primitivos” dimensionados para acomodar o objecto a criar. Os desenhos de perfil e de frente, disponíveis na estrutura anteriormente criada são, nesta tarefa, um precioso auxiliar.

Sucessivamente, num processo de trabalho intensivo e laborioso, vamos construindo o objecto através de consecutivas extrusões, conexões e refinamentos da malha geométrica. Todas estas operações obedecem a uma constante comparação com os desenhos analíticos anteriormente criados, tornando-se estes últimos “cúmplices” directos do modelo 3D (Figura 4.2.3).

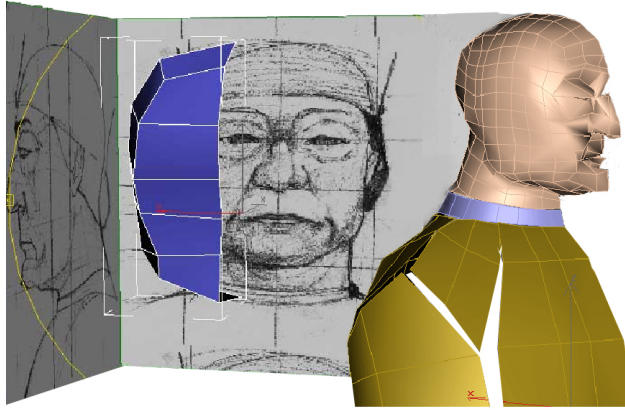


Figura 4.2.3
Diferentes etapas de modelação analítica 3D.

De salientar que as operações de modelação analítica e os inúmeros acertos da malha poligonal não deixam qualquer vestígio gráfico, como acontece no desenho tradicional (Figura 4.2.3). Como sabemos, o principal objectivo das plataformas 3D é a simulação de imagens foto-realistas, logo, os estádios intermédios do modelo são pouco importantes. No entanto, se o objectivo for conceber uma imagem com características não-realistas, então as etapas de modelação analítica podem conter excelentes informações gráficas que permitem conceber melhores grafismos.

Conclui-se, desta forma, que o processo de modelação analítica 3D tem profundas semelhanças metodológicas com o desenho analítico tradicional e se as duas disciplinas forem integradas no mesmo fluxo produtivo, como é desejável, isso resultará na construção de melhores modelos 3D.

4.3 Enfatismo e exclusão gráfica

No capítulo relacionado com o funcionamento do sistema visual humano vimos que perceber implica fazer escolhas. Face à quantidade de estímulos sensoriais, o SVH tem de, inevitavelmente, seleccionar consciente ou inconscientemente aquilo que quer ver e como quer ver. Reforçando estas conclusões, escreve Hochberg: - “ver é um processo activo e selectivo” (pag.72), “ (...) a maneira como uma pessoa volta a olhar para o mundo tanto depende da sua consciência do mundo, como dos seus objectivos – ou seja, das informações que procura” (pag.76) (Hochberg 1968). Ainda no mesmo sentido, citemos as palavras de António Carneiro “ (...) desenhar é a expressão organizada da nossa apreensão sensitiva do mundo exterior” (Carneiro 1995).

As interpretações de Hochberg acerca da forma como se processa o acto de ver e as afirmações de António Carneiro sobre o desenho enquanto forma de expressão organizada das nossas apreensões sensitivas levam-nos a depreender existir uma profunda relação procedimental entre a consciência que temos do que queremos ver e a forma como organizamos e expressamos através do desenho essas “consciências”. É esta ligação entre ver e desenhar que abordaremos de seguida.

O desenho de representação tem como premissa procurar ser fiel à realidade visual. No entanto, perante o infindável número de informações disponibilizadas pelo mundo visual, é necessário fazer escolhas – o que deve ser representado? Quais as qualidades formais que melhor representam o objecto na sua ausência? Quais os aspectos formais a salientar, negligenciar e omitir de forma a aumentar a significação dos objectos? Isto apenas para referir algumas das mais importantes decisões.

As respostas a estas interrogações são claramente perceptíveis e fáceis de identificar na obra gráfica acabada – traçados mais evidenciados do que outros, linhas pouco demarcadas e quase imperceptíveis, exagero formal em determinadas regiões do desenho, aspectos formais omitidos, sobreposição de texturas para aumentar o contraste entre estas e os espaços vazios, etc. Estes “vestígios” gráficos permitem a compreensão das decisões gráficas do autor da obra e o esclarecimento da mensagem visual proposta pelo autor.

Isto coloca a disciplina de desenho numa espécie de privilegiado meio colector de importantes informações visuais, caracterizada pela constante dialéctica entre o enfatismo, o nivelamento e a exclusão gráfica (Massironi 1982).

Perante estes factos, uma interrogação se nos coloca: quais serão os critérios (se é que eles existem) de selecção visual que o desenhador tem em conta ao representar os objectos?

Desenhar é um acto dinâmico e pessoal – uma mesma imagem pode ser representada e interpretada de diferentes formas, portanto o desenhador pode criar um número infinito de composições e traçados sem nunca os repetir. Ele decide o que pretende ver representado e o que deseja ver omitido na sua obra gráfica, sendo todas estas decisões marcadamente subjectivas, pessoais e sujeitas a contínuas reformulações formais. Ora, perante tal irregularidade e subjectividade processual, é impossível prevermos quais serão as decisões gráficas que o desenhador tomará durante a execução da sua obra. Logo, a resposta à interrogação anteriormente formulada será sempre inconclusiva.

No entanto, isto não nos impede de procurar compreender os procedimentos que envolvem a execução dos desenhos, pois, se não existe um critério objectivo, comum, que norteie o desenhador durante a execução da obra gráfica, existe certamente uma metodologia procedimental, pois de outra forma por não termos um meio de comparação, não seríamos capazes de avaliar as qualidades expressivas da obra nem muito menos identificar o cerne da mensagem visual que o autor pretende veicular. São estes procedimentos metodológicos que iremos abordar em seguida.

Dividimos esta análise em dois momentos. O primeiro, debruçar-se-á sobre os aspectos relacionados com o enfatismo e a exclusão gráfica e a forma como estas decisões determinam as qualidades do desenho e o segundo momento incidirá sobre os aspectos relacionados com as técnicas de

representação, nomeadamente, os procedimentos de nivelamento e simplificação formal – práticas, exemplos e contributos para a melhoria plástica do desenho.

Falar de ênfase e exclusão no domínio das artes do desenho é equivalente a dizer que o desenho é a arte da escolha e da negação. Para proceder a estas operações de “decisão” o desenhador deverá possuir um profundo conhecimento dos pormenores formais da imagem, bem como do seu significado. Com um olhar vago e apressado não é possível decifrar a imagem na íntegra. Pelo contrário, aquele olhar que lentamente deambula pela superfície da imagem (scanning), analisando a estrutura interna e os impulsos que esta provoca no observador facultarão um maior conhecimento das suas particularidades (Flusser 1998).

Ao vaguearmos pela imagem estamos implicitamente a falar de tempo: o tempo de passear pela sua superfície; o tempo de contemplação; o tempo de procura; o tempo de retorno ao que já vimos. Neste tempo, o olhar vai tomando decisões, encontra lugares preferenciais, dá-lhes um significado, estabelece relações (Flusser 1998). Estes lugares ganham assim um valor enfático, logo, lugares que merecem ser representados.



Figura 4.3.1
Rico Lebrun, “Retrato de um homem”, 1939.



Figura 4.3.2
Sigmund Abeles, “Depois da sua operação ao olho”, 1934

Observemos atentamente as figuras 4.3.1 e 4.3.2. Um olhar de um inexperiente poderá ver estes desenhos como inacabados, devido à omissão de grafismos em certas áreas do desenho, nomeadamente a zona do corpo dos retratados. No entanto, sabemos não ser assim. Os rostos são claramente as zonas mais enfatizadas dos desenhos. Eles representam, para os seus autores, o principal foco de atenção, enquanto que o corpo é um auxiliar narrativo da pose dos retratados. Outras informações gráficas (texturas, sombras, outras) são omitidas. Para o observador, este procedimento de ênfase e de exclusão “obriga” a dirigir o seu olhar para o cerne da mensagem, previamente decidido pelos autores

dos desenhos. Curiosamente, ao nível da percepção visual, a falta de informação em certas áreas não condiciona a nossa capacidade em determinar o seu significado, talvez devido aos processos de “completamento” há muito discutidos pelas escolas da percepção visual (W.H. Ittelson 1952; Michotte, Thinès et al. 1964).

O exemplo da caricatura e de certas imagens satíricas (figura 4.3.3), enquanto técnicas de desenho, são paradigmáticas dos inúmeros procedimentos de enfatismo / exclusão. São desenhos esquemáticos, onde o fundo é excluído da representação e os efeitos de tridimensionalidade e relevos são vagamente sugeridos. No entanto, o grau de enfatismo sugerido pela exagerada deformação gráfica na mensagem visual é de tal forma absorvente que nos impede de sentir qualquer carência gráfica. Esta técnica gráfica baseia-se num princípio de simplificação formal, logo, sendo privada de algumas informações visuais, contudo é enriquecida com outras, restabelecendo-se assim o equilíbrio (Massironi 1982).



Figura 4.3.3
Cinco cabeças grotescas, 1490, Pena e tinta,
26,1 x 20,6 cm, Leonardo da Vinci (1452-1519).

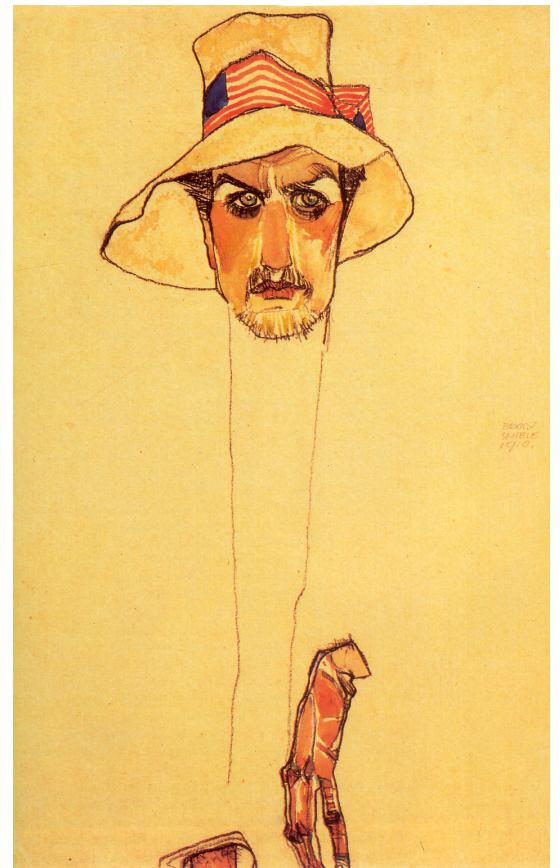


Figura 4.3.4
Retrato de um homem com Chapéu, 1910, Egon Schiele.
O grau de enfatismo nas mãos e no rosto complementam
as profundas omissões gráficas no restante desenho.

O desenho taxonómico desempenha uma importante função nas mais diversas áreas das ciências aplicadas. Este é um tipo de desenho muito descritivo e pormenorizado (figuras 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7). Podemos ser levados a pensar que neste tipo de expressão gráfica o recurso a técnicas de

ênfatiso e exclusão é inexistente dado o grau de descrição chegar a ser quase fotográfica. No entanto, também aqui (provavelmente mais até do que em qualquer outro) o desenho  fruto de disciplinadas estratégias de selecco e omissão gráfica, o que lhe confere um valor descritivo insubstituível.

Enunciemos algumas regras estruturais do desenho com funcces taxionmicas:

- uso do plano frontal;
- omissão do fundo, visto este perturbar a leitura do desenho;
- ponto de vista rígido, uma vez que a figura não se sujeita ao ponto de observao, mas sim  estrutura do representado;
- segmentao das formas para representao esquemática do objecto;
- exclusão de traços particulares que possam representar a singularidade do objecto representado, garantindo assim uma representao normativa.

O que aparentemente parece um modelo de desenho quase fiel  realidade, tal  o seu grau de descrio formal, não passa de um processo de representao bastante selectivo e, por vezes, até inverosímil. No entanto, cumpre, como nenhum outro meio de representao, as exigências do discurso científico.

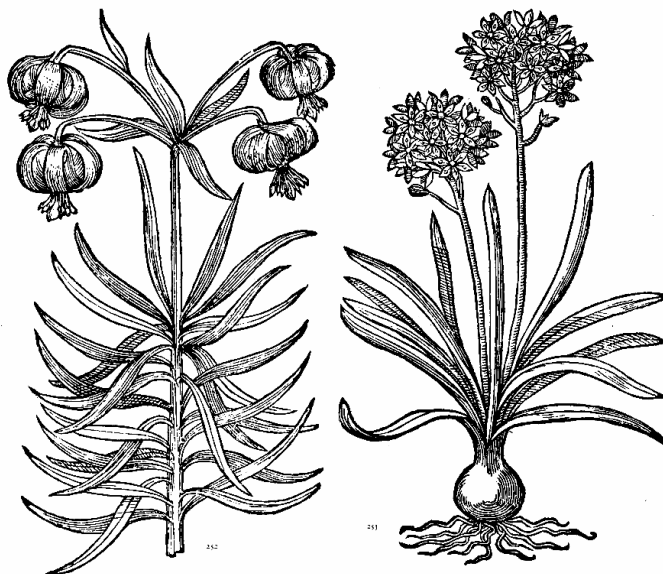


Figura 4.3.5
C. Clusius, *Lilium montanum* e *Hyacinthus Stellates* da “*Rariorum plantarum historia*”, 1601.

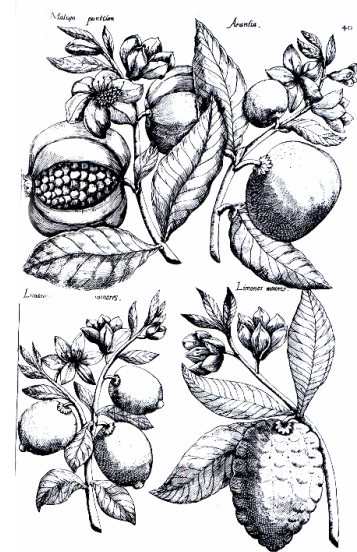


Figura 4.3.6
E. Sweerts. *Florilegium Novum*, 1612.

Estas imagens com intences taxionmicas, apesar da sua aparência “quase” real, não passam de montagens meramente explicativas.

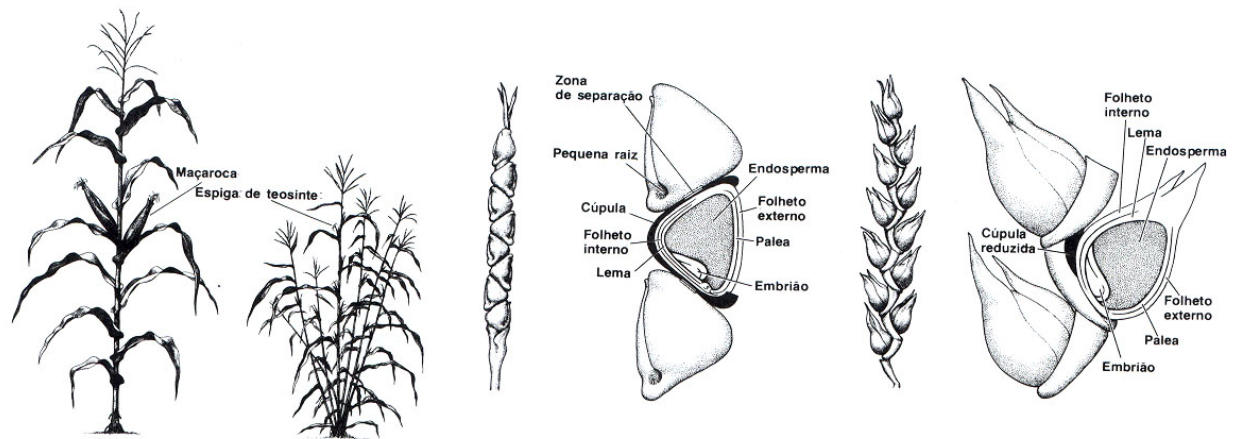


Figura 4.3.7

T. Prentiss, *Ilustrações para artigo sobre o milho*.

Esta ilustração taxonómica revela funções descritivas e auxiliares do discurso científico. Apesar da aparência rigorosa dos traçados e texturas de preenchimento, ela é fruto de um trabalho selectivo onde se enfatizam pormenores estruturais e se omitem outros por estarem fora do contexto descritivo.

5. Máquina de Desenho

“Tudo o que fiz foi feito para o presente e não na esperança de que permaneça sempre no presente. Nunca me detive com o pensamento na procura. Quando tive algo a exprimir, fi-lo da forma que me pareceu ter de o fazer. É inevitável que diferentes motivos exijam métodos de expressão diferentes. Isto não é sinal de uma evolução ou de um progresso, mas sim adaptação à ideia que se quer exprimir e ao meio, através do qual se exprime a ideia.”

Pablo Picasso

5. Máquina de Desenho

5.1 Descrição conceptual e objectivos gerais

Em anteriores capítulos descrevemos os principais elementos que constituem a gramática do desenho enquanto forma privilegiada de comunicação visual. Mostramos a génese formal do desenho e como este, através de múltiplas associações gráficas, adquire uma riqueza plástica cheia de valor expressivo.

Em paralelo, fomos demonstrando as possíveis soluções computacionais, as quais, por analogia, são adequadas para a simulação das qualidades plásticas do desenho dito tradicional. Nomeadamente, a textura, a linha, a forma, a luz, a penumbra a sombra e por fim o valor.

Ficou claro, em síntese, a existência de dois universos técnicos complexos – o universo do desenho tradicional e o do desenho gerado por computador. Apesar das proximidades operativas destes dois universos de criação, certas tipologias de desenho (por exemplo, o desenho de esboço e de representação) têm-se revelado de difícil implementação nos meios computacionais e os sistemas que existem são geradores de soluções pouco convincentes no que concerne às qualidades plásticas dos traçados gerados.

Todas estas soluções pecam por gerarem obras com um certo grau de artificialismo gráfico, denunciando a sua origem “mecânica” nada desejável se o objectivo for a criação de desenhos de observação, livres no gesto e denunciadores de uma certa subjectividade formal – particularidades dos desenhos de esboço tradicionais.

A máquina de desenho que propomos construir apresenta um conjunto de soluções ambiciosas: porque sabemos que através de sucessivos exercícios dedicados e orientados é possível ensinar a desenhar qualquer indivíduo que se proponha a aprender (Betti and Sale 1986); também porque um desenho humano é o resultado de erros e afirmações de traçados que se sobrepõem sucessivamente; assim, apresentamos um sistema baseado nestas premissas basilares.

O protótipo procura simular o desenvolvimento gráfico por que passa a obra de desenho, desde os primeiros esboços estruturais, passando pela definição rigorosa dos traçados, aplicação de texturas e por fim, a representação dos fenómenos de luz, penumbra e sombra.

Com esta solução, estamos a focalizar a nossa atenção no processo de trabalho e todas as incursões gráficas que ocorrem no desenvolvimento deste. Negligenciamos a aparência gráfica da obra acabada, como erroneamente fazem muitos sistemas de desenho por computador (Hsu and H.H.Lee; Kaupelis 1980; Decaudin 1996; Gooch and Gooch 2001). No nosso sistema o processo é quem determina o resultado.

Antes de continuarmos, será útil apresentar os objectivos que nortearam o desenvolvimento do protótipo. São eles:

- Simular grafismos com características tipológicas idênticas aos desenhos de representação do real.
- Gerar obras gráficas idênticas, no seu aspecto formal, aos desenhos tradicionais.
- Reproduzir objectos com um certo grau de imprecisão formal.
Esta característica formal, presente em quase todos os desenhos convencionais, advém de dois factores: incapacidade técnico/operacional do artista e (ou) intenções de ordem plástica – sobrestimar a representação fiel da realidade em detrimento das qualidades expressivas da obra.
- Adaptar-se ao contexto comunicativo em que se insere de forma dinâmica e imprevisível.
Esta intenção aprofunda o poder comunicativo do desenho enquanto meio de expressão visual. De facto, a criação de um automatismo capaz de gerar “bons” desenhos (numa perspectiva técnico-expressiva) colocará, nas mãos de pessoas menos hábeis, uma ferramenta de produção gráfica de alto nível comunicativo.
- Simular todo o percurso/processo evolutivo da obra de desenho tradicional, baseando-se para tal, nos modelos convencionais de aprendizagem da disciplina de desenho.
- Simulação dos efeitos de ênfase e exclusão gráfica¹⁴ recorrendo a dispositivos de rastreamento e mapeamento dos movimentos da retina (eyetracking)¹⁵.

Em síntese, a máquina de desenho / protótipo que propomos construir deverá ser capaz de gerar desenhos de observação formalmente idênticos aos desenhos gerados por mão humana. Este é o objectivo principal.

Ao formularmos este compromisso de imediato se colocam diversas interrogações: que instrumentos e soluções técnicas são necessárias para gerar tecnicamente um bom desenho? Que tipo de artificialismos técnico/expressivos são fundamentais para construir um automatismo capaz de gerar uma obra com qualidades plásticas idênticas aos desenhos convencionais?

Antes de articularmos quaisquer possíveis respostas a estas questões é essencial definir um método. Isto porque o problema que nos propomos resolver é complexo e multidisciplinar. Na ausência de uma metodologia adequada e devidamente orientada para o problema que temos em mãos, acabaríamos,

¹⁴ Ver capítulo 4.3

¹⁵ Sobre o ET ver capítulo 2.2.4

inevitavelmente, por cometer certas incorrecções técnicas e, mais grave que isso, afastar-nos-íamos da verdadeira essência do desenho ao nível da plasticidade gráfica, prejudicando assim irremediavelmente a arquitectura da máquina que pretendemos construir.

No entanto, não basta uma análise superficial das técnicas do desenhador, é fundamental perceber a lógica instrumental dessas operações e os efeitos que as mesmas provocam na qualidade representativa do desenho.

Por tudo isto, fomos à procura de respostas directamente às fontes. Consultamos diversos livros de referência sobre a forma como podemos aprender a desenhar, observámos, *in loco*, a progressão de uma obra de desenho, estudamos inúmeros desenhos de autor, vimos desenhos de academia e técnicas de representação ministradas em sala de aula, etc.

As informações obtidas permitem-nos asseverar que existe um programa. Melhor dizendo, uma didáctica comum a todos os desenhos que tem como objectivo principal retratar objectivamente a realidade¹⁶. Esta constatação possibilitou a segmentação do trabalho do desenhador em quatro procedimentos-chave:

- **Análise e estruturação gráfica;**
- **Acentuação formal;**
- **Enfatismo e exclusão gráfica e**
- **Composição.**

Sublinhamos o facto de esta divisão em procedimentos-chave ser artificial e apenas servir para metodicamente procurarmos as soluções algorítmicas correspondentes¹⁷. Se vamos construir uma máquina, inevitavelmente, precisamos de programas (procedimentos-chave).

Assim, recorrendo à metodologia acima mencionada e juntamente com os procedimentos-chave enunciados, estamos em condições de passar a explicar a constituição da máquina de desenho/protótipo.

5.2 Constituição da Máquina de Desenho

A máquina de desenho que nos propomos construir baseia-se num semi-automatismo. Basicamente, necessita de: objectos tridimensionais de média resolução poligonal, podendo ser adquiridos de duas formas - por modelação manual e (ou) por modelação automática¹⁸; um motor de *render* para cálculos de iluminação e de um dispositivo de análise da retina do observador (ET) para determinar as zonas de enfatismo e exclusão gráfica do desenho.

¹⁶ Estão de fora deste estudo outros tipos de manifestações gráficas, representativas de universos não-figurativos, pois estes não são o objecto de análise desta tese.

¹⁷ O acto de desenhar é uma actividade contínua e anacrónica. Não há um percurso totalmente linear no decorrer da obra. No entanto, é possível definir um princípio, um desenvolvimento e uma finalização. Foi este percurso que nos permitiu segmentar o processo de trabalho do desenhador.

¹⁸ Sobre os processos de modelação 3D manual/automático, ver capítulo 4.2.1.

Em seguida, descrevemos pormenorizadamente o funcionamento do protótipo. Como referimos no capítulo anterior, adoptaremos uma metodologia de análise organizada da seguinte forma: descrição e avaliação dos procedimentos-chave do desenho e respectiva solução algorítmica.

5.2.1 Primeiro procedimento-chave – Análise e estruturação gráfica

5.2.1.1 O Problema

No capítulo 4.1.1 “Procedimentos / Desenho analítico” expusemos uma importante técnica de desenho de representação. Basicamente, esta prática tem como objectivo reduzir a complexidade formal dos objectos existentes no cenário em estruturas mais simples. Para tal, o autor estuda o cenário ao nível das relações de escala dos objectos, das proporções, das estruturas e do peso visual das formas em toda a composição. Esta investigação, marcada por uma intensa actividade de perscrutação visual, resulta consequentemente num determinado registo gráfico: grandes linhas percorrem a superfície do papel e pequenos apontamentos gráficos determinam as alturas, os comprimentos e as distâncias. Geralmente, estes apontamentos gráficos têm uma expressão visual quase imperceptível, tal é a reduzida intensidade dos traçados. Isto acontece porque a actividade do desenhador nesta fase é sobretudo de investigação, portanto é frequente acontecerem erros estruturais. Se porventura o desenhador utilizasse grafismos demasiado carregados, eles seriam impossíveis de corrigir, o que, em última instância, poderia arruinar a obra.

Como podemos repercutir estes procedimentos em computação gráfica? Quais as fontes de informação necessárias e que dimensão e qualidade expressiva é possível de alcançar?

Síntese do problema:

- a) Marcação de linhas estruturantes e redução da complexidade geométrica dos modelos de forma a obter objectos elementares.¹⁹
- b) Aplicação de perturbações nos traçados de forma a criar irregularidades e variações no comprimento das linhas.²⁰

5.2.1.2 A Solução

5.2.1.2.1 Marcação de linhas estruturantes e redução da complexidade geométrica dos modelos de forma a obter objectos elementares.

Partindo do princípio que temos já disponível os objectos 3D que compõem o cenário, obtidos através de um qualquer método de modelação (capítulo 4.1.1 “técnicas de modelação”), precisamos de

¹⁹ Capítulo 4.1 “Procedimentos/ Desenho Analítico” .

²⁰ Capítulo “3.1.1 “A Linha”.

criar um método computacional de simplificação da malha geométrica e um método de geração de linhas estruturantes.

Modelo automático de geração geométrico baseado em vértices

Aquele que melhor serve os nossos objectivos é o modelo automático de geração geométrico baseado em vértices. Este modelo produz objectos 3D a partir de múltiplos vértices colocados em diferentes coordenadas, os quais permitem criar arestas, planos e, no seu conjunto, objectos tridimensionais. Todavia, existem certas condicionantes estruturais inerentes a este modelo de geração de geométrico:

- a enumeração dos vértices tem de ter sempre o mesmo sentido horário (ou o inverso);
- a estrutura topológica tem de ser consistente, ou seja, para que a topologia do objecto seja válida é necessário que contenha três ou mais vértices, etc.

Analisemos as figuras a seguir para melhor compreender o processo de geração de objectos que acabamos de descrever.

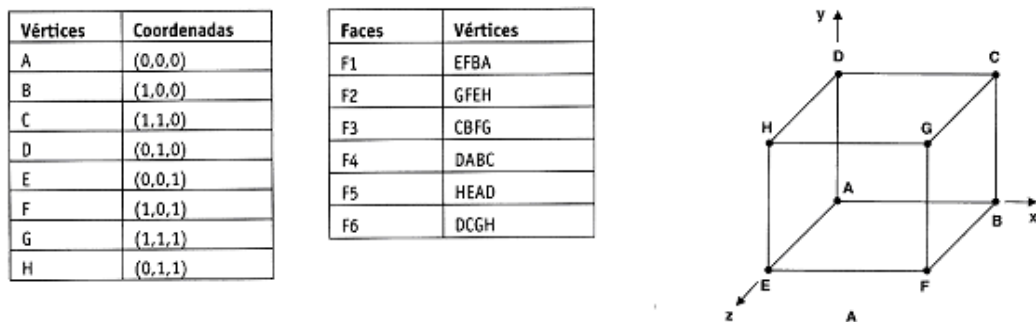


Figura 5,2

Inicialmente definimos o vértice **A**, conseqüentemente vamos definindo os restantes, sempre numa ordem constante, até obtermos todo o objecto. (**B,C,D,E,...**)

É com este modelo de geração geométrico que vamos simplificar a volumetria dos objectos. Passamos a descrever pormenorizadamente este procedimento.

Método de simplificação volumétrica

Para a simplificação volumétrica dos objectos, recorreremos ao modelo de geração geométrico anteriormente descrito. Passamos a descrever pormenorizadamente este procedimento.

Inicialmente, o sistema analisa o número de vértices de cada um dos objectos presentes no cenário. Se porventura a malha geométrica tiver um número reduzido de vértices, já estamos perante um objecto com características geométricas simplificadas.

De seguida, são analisadas e armazenadas em matrizes as coordenadas espaciais dos vértices. Em cada um dos eixos de coordenadas x,y e z são calculados, por interpolação, dois pontos: um ponto máximo e um ponto mínimo, aplicando-se idêntico procedimento a todas as coordenadas espaciais anteriormente armazenadas.

Por fim, servimo-nos dos pontos criados por interpolação para gerar uma estrutura geométrica simplificada através do modelo de geração geométrica. Para melhor compreensão do que acabamos de expor, analisemos a figura 5.3

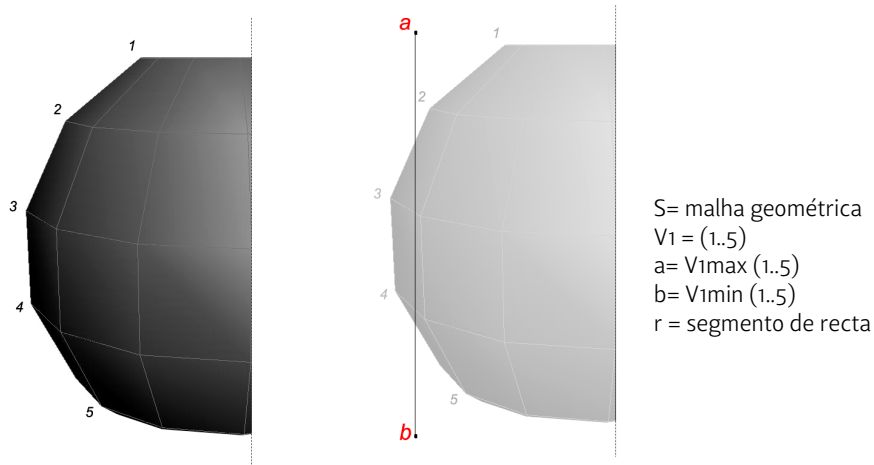


Figura 5.3

A malha geométrica S , V_1 contém os vértices 1 a 5. Estes vértices são armazenados em matrizes, depois é calculado o ponto mínimo $V_{1/\max}$ e o ponto máximo $V_{2/\Max}$. De seguida são definidos os pontos a e o ponto b , originando assim o segmento r .

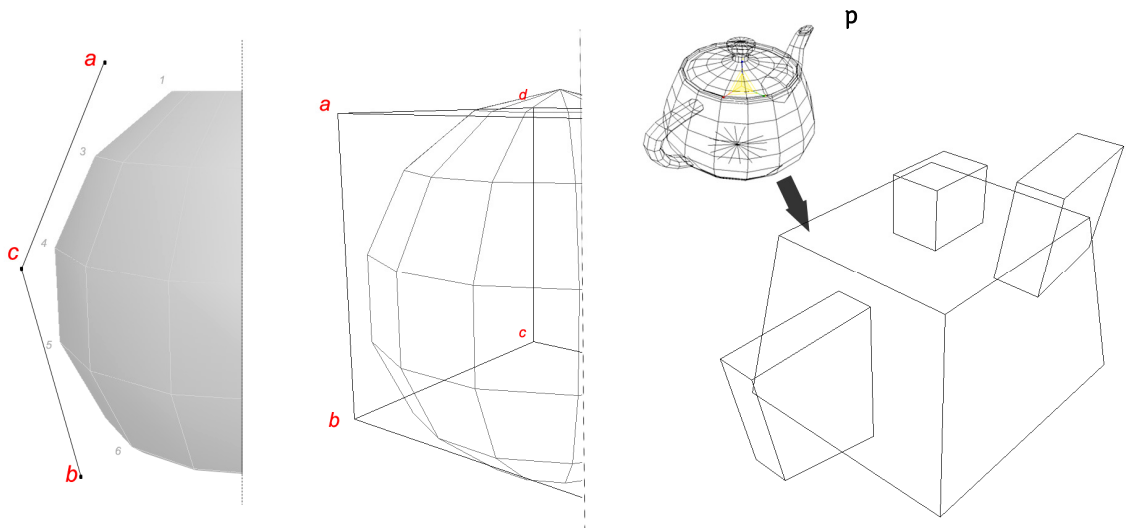


Figura 5.4

Outros pontos intermédios podem ser calculados por interpolação em V_1 . criando desta forma um grau de aproximação geométrica ao objecto original

Figura 5.5

Aplicação do método de refinamento geométrico ao objecto p .

Esta abordagem técnica é bastante flexível e apresenta resultados bastante satisfatórios. Porém, estamos ainda longe da completa simulação das qualidades gráficas dos esboços humanos. Em

circunstância alguma (com excepção dos desenhos técnicos) as linhas estruturais têm a singularidade gráfica apresentada na figura 5.5. Como podemos empiricamente observar, as linhas da referida figura inserem-se numa tipologia de linhas precisas, rectilíneas e unidas entre si, enquanto que as linhas dos esboços gerados por mão humana são exactamente o inverso – os desenhos apresentam linhas irregulares resultantes da directa expressão do braço do desenhador.²¹

Esta comparação coloca-nos perante o segundo problema técnico .

5.2.1.2.2 Perturbação nos traçados de forma a criar irregularidades e variações no comprimento das linhas

Na figura 5.6 estão representadas duas linhas: a linha **a** é um esboço gerado por mão humana, a linha **b** é uma linha gerada pelo método de simplificação geométrica anteriormente descrito. Na figura 5.7, podemos observar as variações que ocorrem nas extremidades das linhas. Na linha **a** as partes terminais das linhas não são coincidentes, ao contrário da linha **b**.

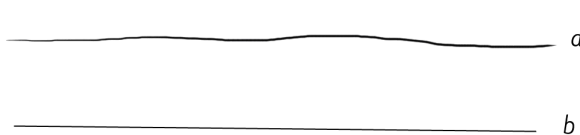


Figura 5.6

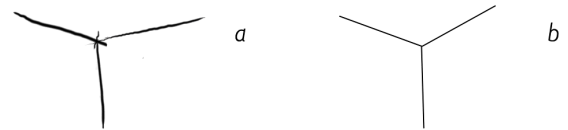


Figura 5.7

Para simulação do efeito oscilante das linhas **a**, recorreremos a um conjunto de soluções, as quais passamos a descrever.

Dada a recta **r** determinamos um conjunto de novos pontos no seu percurso, obtendo assim um refinamento linear mantendo, no entanto, os pontos unidos (fig.5.8 **a** e **b**). De seguida, seleccionamos aleatoriamente alguns pontos da recta e aplicamos uma translação nos eixos de coordenadas **x**,**y** e **z**. Este procedimento provoca dois tipos de ocorrências: oscilações no percurso da linha e variações no seu comprimento (fig. 5.8 **c**).

Tanto a selecção de alguns pontos como os coeficientes de translação são determinados através de rotinas aleatórias. Sublinhamos ainda o facto da variabilidade do efeito de oscilação linear estar dependente do número de pontos e translações aplicados às rectas. Quanto maior for este número maior será a oscilação registada (figura 5.9).

²¹ Capítulo 3.1.1 “A Linha”.

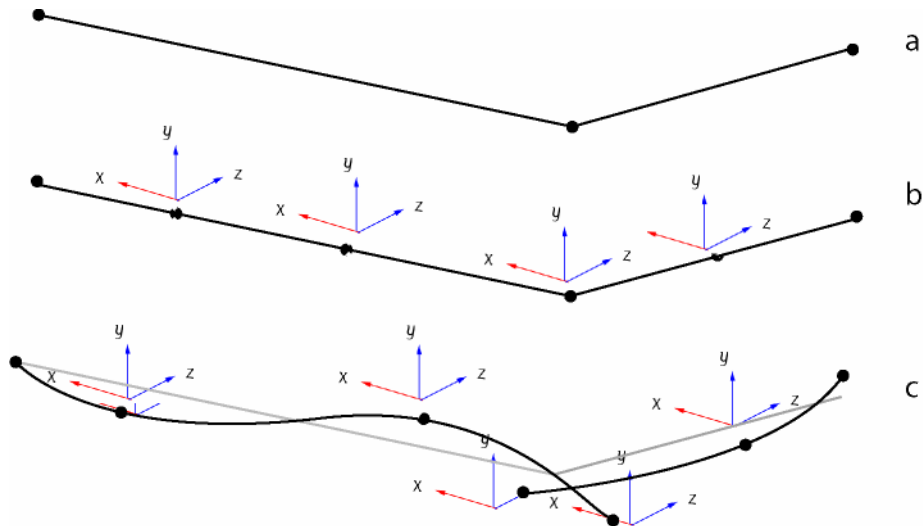


Figura 5.8

Este procedimento é semelhante ao método de representação de linhas curvas por análise representativa, descrito no capítulo 3.1.2.



Figura 5.9

Outros grafismos podem ser recriados através deste método. A saber: eixos de simetria, linhas de perspectiva, apontamentos gráficos, erros de traçados e outros considerados determinantes para a simulação de desenhos feitos por mão humana.

Quando aplicamos este procedimento de perturbação nos traçados dos modelos geométricos simplificados, anteriormente gerados, obtemos os seguintes resultados:

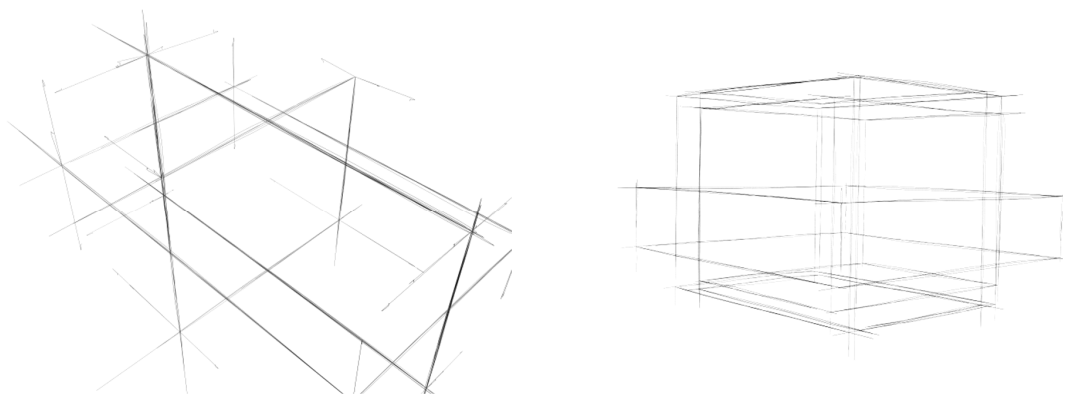


Figura 5.10

Alguns exemplos de objectos em que foram aplicados procedimentos de simplificação geométrica e irregularidades nos traçados.

5.2.2 Segundo procedimento-chave – Acentuação Formal

5.2.2.1 O Problema

Numa segunda fase, já com as linhas estruturais definidas, o desenhador começa a esboçar gradualmente os contornos dos objectos. Os grafismos tornam-se cada vez mais intensos e precisos, permitindo uma fácil e clara identificação das formas.

Em certos objectos o desenhador cria linhas de contorno fechado e de contraste acentuado, sobretudo para aqueles que se encontram em primeiro plano e (ou) ocupam um lugar narrativo importante, criando assim, uma distinção entre a forma e o fundo. Criada esta distinção, outros fenómenos perceptivos ocorrem, nomeadamente um efeito ilusório de profundidade espacial e a percepção das superfícies em oclusão.

Outro aspecto importante nesta fase do desenho é a expressão gráfica das linhas, no que diz respeito à sua intensidade tonal e textura. Basicamente, o desenhador recorre a dois tipos de expressão gráfica: grafismos intensos para acentuar os contornos das formas, no sentido de as tornar mais visíveis; grafismos de fraca intensidade tonal, tendo como função explicar a geometria dos modelos, perspectiva e (ou) outros elementos considerados importantes para o desenhador.

As superfícies em oclusão, também chamadas de interposição ou interrupção do contorno, permitem calcular a posição relativa entre os objectos no cenário. Estes fenómenos perceptivos são descritos como obstruções da visão. Assim, quando uma superfície obstrui uma outra, sabemos que a primeira está mais próxima de nós.

Este fenómeno perceptivo é frequentemente aplicado nos desenhos através de inúmeros artificialismos gráficos, designadamente: acentuação formal dos objectos em primeiro plano; marcação de linhas de fuga; delineamento estrutural dos objectos; diferentes tipologias de traçados (isto para referir apenas os mais evidentes figura 5.11; 5.12; 5.13; 5.14; 5.15). Poderíamos à primeira vista julgar que estes artificialismos prejudicam o realismo dos desenhos, dado que não são observados na realidade visual, mas tal não se verifica, pois eles reforçam o efeito de espacialidade. Não esqueçamos que o desenho é uma representação monocular, logo desprovida de outras pistas visuais importantes para percebermos a tridimensionalidade do espaço.²²

²² Ver capítulo 2.2.2 Percepção do espaço

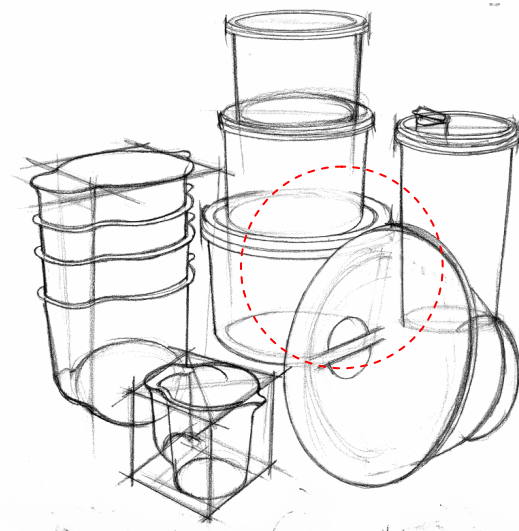


Figura 5.11
A acentuação gráfica dos contornos dos objectos, a interrupção dos mesmos e a marcação de algumas linhas estruturais e de fuga contribuem significativamente para a identificação de superfícies em oclusão.

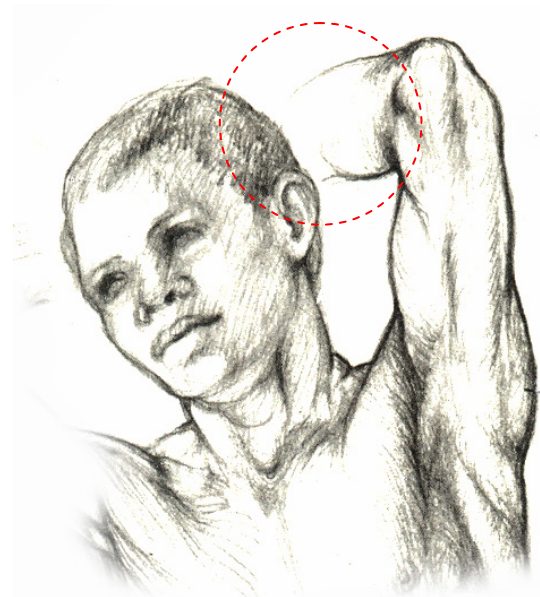


Figura 5.12
Por vezes os desenhadores recorrem a técnicas de gradação tonal para provocar um efeito de distanciamento ou (e) oclusão.



Figura 5.13
Esta técnica de desenho coloca em primeiro plano as superfícies em oclusão e as visíveis, tornando possível desta forma estudar as estruturas internas de certos modelos.

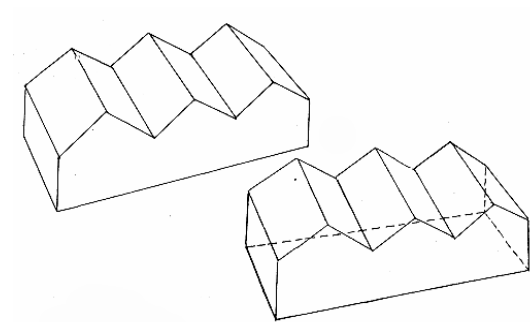


Figura 5.14
Certas convenções gráficas permitem representar as superfícies em oclusão sem criar qualquer ambiguidade formal.



Figura 5.15

Por vezes o desenhador recorre a meios de apagamento para aumentar o contraste das formas, colocando-as em primeiro plano, como podemos observar nas zonas do corpo fortemente iluminadas.

Síntese do problema:

- a) Criação de linhas de contorno dos objectos e sua definição formal.
- b) Expressão gráfica das linhas quanto à sua textura e intensidade tonal.
- c) Superfícies em oclusão e artificialismos gráficos associados.

5.2.2.2 A Solução

5.2.2.2.1 Criação de linhas de contorno dos objectos e sua definição formal

Para solucionarmos o problema da criação de linhas de contorno dos objectos, precisamos de saber o tipo de informações dimensionais disponíveis e de que forma estas servem os nossos propósitos.

Para muitos investigadores de sistemas NPR, os modelos dimensionais 3D oferecem um conjunto de possibilidades e informações técnicas imprescindíveis para a recriação de diversas simulações gráficas. Nomeadamente, informações sobre o espaço, proporções dos objectos, escalas, profundidade, etc., mencionando apenas as mais importantes. Todas estas informações fornecem meios para a simulação de múltiplas técnicas de representação gráfica, desde a ilustração até ao desenho técnico e arquitectónico, etc. (Dooley and Cohen 1990; Coutts and Greenberg 1997; Interrante 1997; Markosian, Kowalski et al. 1997; Schlechtweg 1997; Gooch, Gooch et al. 1998; Masuch, Schumann et al. 1998; R.M.Coutts 1998; Raskar and Cohen 1999).

Todas as técnicas de representação gráfica que procuram representar cenários 3D em superfícies bidimensionais debatem-se com as mesmas interrogações: como detectar os contornos dos objectos, as discontinuidades das superfícies e as zonas fronteira entre fundo e formas? Estas são também, como já enunciámos, interrogações centrais do nosso projecto.

Passamos a descrever o modelo que desenvolvemos para a resolução deste desafio técnico.

Genericamente, o processo de detecção de linhas de contorno dos objectos baseia-se no seguinte procedimento (figura 5.16):

A malha geométrica x ; v representa o ponto de visualização do objecto.

- a) Projectamos o raio e até tocar a superfície da malha x ;
- b) quando um raio projectado perfaz um ângulo de 90 graus com a normal (n) do objecto, estamos perante um ponto que se encontra no limite entre o fundo e o objecto;
- c) depois de detectados todos os pontos que satisfazem a condição referida na alínea anterior, podemos definir um segmento de recta, o qual irá representar a linha de contorno do objecto. Desta forma é também possível identificar as faces da geometria em oclusão e as faces visíveis.

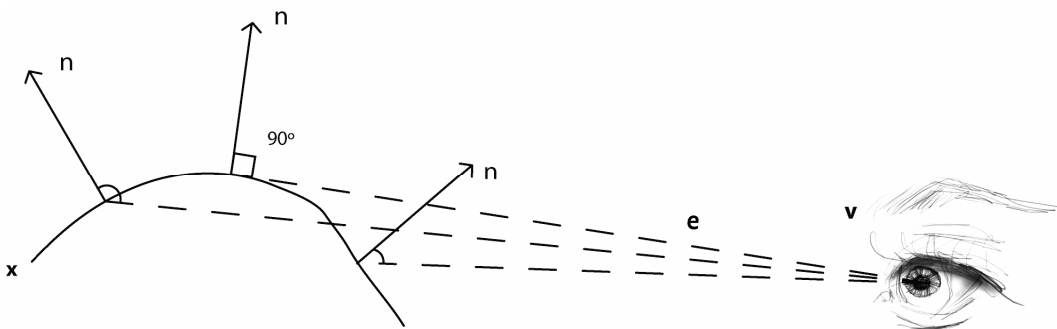


Figura 5.16

Esta técnica de detecção exige que se trabalhe com modelos 3D. Isto não constitui um problema pois, como já enunciámos, o nosso protótipo recorre a modelos 3D como base de trabalho. Carecemos apenas de um modelo algorítmico capaz de recriar a estratégia de detecção de linhas de contorno descrita anteriormente. Eis a solução desenvolvida.

Pseudo-código :

Seleção do objecto

Conversão da malha em polígonos

vDir = ponto de observação

n = computação do vector normal do objecto

```

// detecção das arestas visíveis e invisíveis em função de vDir
    if  $n \cdot vDir > 0 = fc$  (face visível)
    else face invisível =  $fi$  (backface culling)
// detecção das linhas de contorno
linhaDeContorno =  $fc - fi$ 
converte linhaDeContorno em polígonos

```

... Estes são os resultados obtidos:

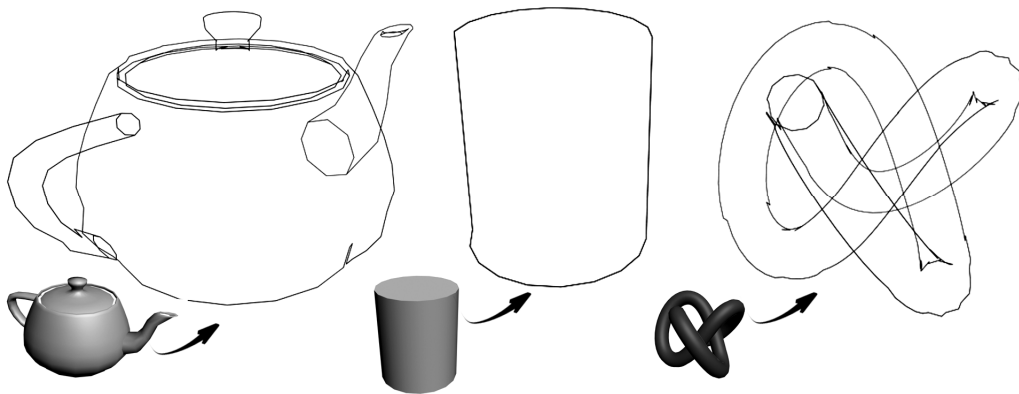


Figura 5.17

Como podemos comprovar pelas imagens da figura 5.17, o resultado é bastante satisfatório. No entanto, quando comparamos os desenhos humanos (precisamente na mesma fase de trabalho - acentuação formal) com os resultados que obtivemos, são notórias as diferenças formais. Tomemos como modelos de comparação as figuras 5.18 e 5.19:

- O desenho da figura 5.18 mostra um conjunto de irregularidades gráficas – pequenos traços, linhas que vão para além dos contornos das formas e outras que globalmente denunciam, por um lado a fragilidade ao nível do domínio técnico, por outro a actividade técnico-expressiva do desenhador.
- O desenho criado pelo nosso protótipo gera uma linha singular, de tonalidade e espessura uniforme (figura 5.19).

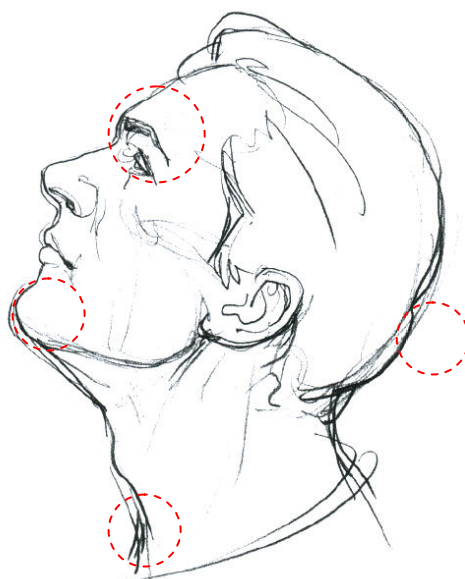


Figura 5.18

Este desenho serve para ilustrar, por um lado, o perfeccionismo técnico do desenhador, visível na forma como acentua as linhas do rosto, por outro, denuncia uma certa hesitação, visível em alguns traçados menos acentuados. Convém sublinhar, que esta hesitação gráfica não influencia a qualidade do desenho. Muito pelo contrário, aumenta a expressividade da obra; confere-lhe uma carga subjectiva e particularmente humanizada. Logo, apresenta-se como algo de extremamente importante a simulação destas ocorrências gráficas na Máquina de Desenho.

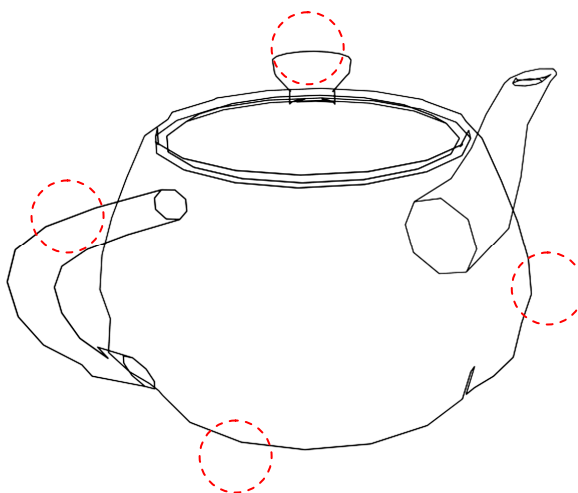


Figura 5.19

É notória a singularidade e “monotonia” dos traçados deste desenho. Esta característica expressiva da linha denuncia um artificialismo “mecânico” nada desejável se a intenção for a criação de desenhos de aparência mais humanizada.

Vejamos como resolvemos este problema.

Primeiramente duplicamos as linhas de contorno, anteriormente geradas, obtendo assim dois modelos:

- O primeiro modelo representa as linhas de contorno rigoroso da forma original. Este tem uma expressão gráfica intensa e os traçados são linearmente perfeitos.

- O segundo modelo representa os traçados irregulares observados nos desenhos realizados por humanos e a sua expressão gráfica é pouco perceptível. Para aplicação de irregularidade aos traçados

utiliza-se um procedimento que convencionamos chamar de *fragmentação linear*, o qual passamos a explicar.

Fragmentação Linear

Consiste na divisão de um dado segmento de recta em segmentos mais pequenos. A estes últimos são aplicados translações nas suas extremidades o que provoca uma extensão no seu comprimento, criando assim múltiplos cruzamentos entre si.

Finalizamos este procedimento com a diminuição da espessura das linhas, tornando-as menos perceptíveis (figura 5.20).

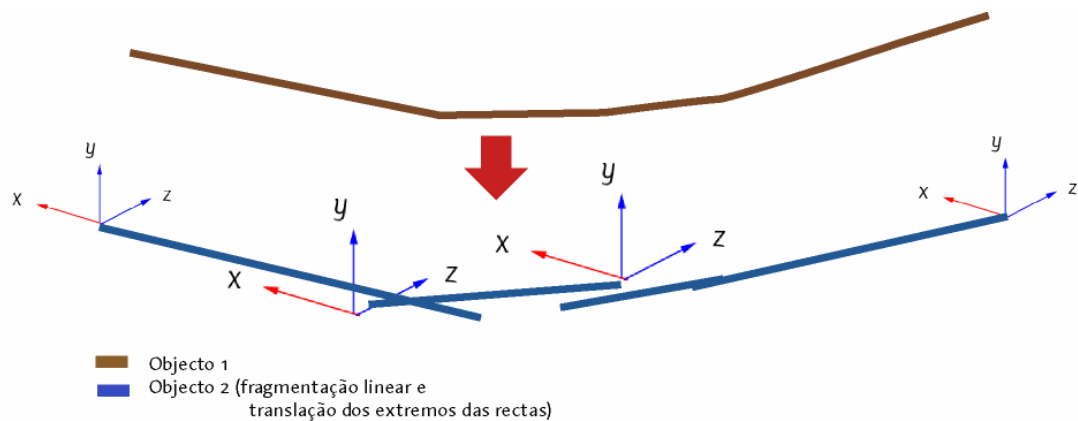


Figura 5.20

Se reunirmos os dois modelos de linhas (linhas de contorno e linhas fragmentadas) obtemos resultados bastante satisfatórios, como comprovam as imagens que se seguem.



Figura 5.21

Desenho obtido através do método de fragmentação linear, conferindo ao modelo um aspecto gráfico bastante expressivo, bem distante dos gráficos CAD.



Figura 5.22

O mesmo método de desenho utilizado na figura anterior, com um maior coeficiente de translação dos eixos de coordenadas (x,y,z), apresenta resultados ainda mais expressivos, comparativamente aos da figura 5.21.

5.2.2.2.2 Expressão gráfica das linhas, quanto à sua textura e intensidade tonal

Vamos agora expor a solução técnica adoptada para simular as diversas texturas e intensidades tonais das linhas frequentemente encontradas num desenho convencional. Mas antes, propomos a cuidada observação do desenho da figura 5.18, dando especial atenção às diferentes intensidades tonais das linhas que preenchem o desenho.

Genericamente, podemos verificar que existem dois tipos intensidade tonais: linhas carregadas para os contornos das formas e grandes volumes (cabelos) e linhas menos intensas para marcação de pontos e (ou) arestas-chave, que permitam ao desenhador “agarrar” as formas de maneira proporcionada e bem estruturada.

Verificamos também que as linhas de menor intensidade gráfica têm uma textura provocada pelo arrastamento do material riscador pela superfície do suporte.

Ao analisarmos os desenhos das figuras 5.21 e 5.22, gerados pela Máquina de Desenho, verificamos ser grande a diversidade de linhas ao nível das variações de tom e textura. No entanto, o resultado continua muito aquém das qualidades plásticas do desenho da figura 5.18. Outro aspecto a salientar nos referidos desenhos é o facto de negligenciarem os cálculos das superfícies em oclusão.

Assim, foi necessário criar um conjunto de procedimentos correctores destes problemas.

Neste sentido, definimos um conjunto de texturas e mapas de superfície para aplicarmos nas linhas. Estes mapas permitirão criar soluções gráficas de vários tipos: simulação de texturas de diversos suportes de desenho; imitação de texturas gráficas típicas de diversos materiais riscadores; variações de intensidade tonal; etc.²³. Todos estes mapas e texturas estão organizados em dois mapas principais:

²³ Ver capítulo 3.1.4 – “Texturas- Paradigma computacional”.

- mapa de opacidade/transparência, para simulação de intensidades tonais das linhas e texturas;
- mapa de deslocação geométrica (displacement), para criação de variações no rebordo das linhas.

Mapa de opacidade/transparência (OT)

O mapa de OT tem como função determinar o grau de opacidade, semi-transparência e transparência dos traçados. Este mapa pode ser de três tipos: gradiente (figura 5.23.a), mapa uniforme (figura 5.23.b) e bitmap (figura 5.23.c). Os mapas gradientes e uniforme são gerados automaticamente através de rotinas procedurais e o mapa bitmap tem a sua origem numa biblioteca de texturas previamente definidas.

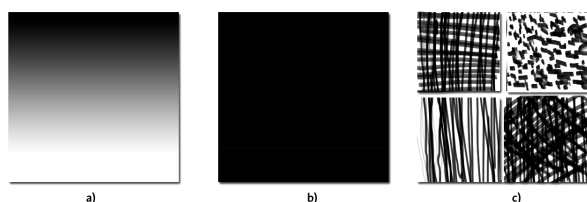


Figura 5.23
Três tipos de mapas de opacidade

Os mapas de OT são formados por tonalidades que vão do branco até ao preto. As zonas negras do mapa representam as áreas transparentes ou semi-transparentes (no caso das tonalidades cinzentas) da superfície. As zonas brancas representam as superfícies opacas.²⁴

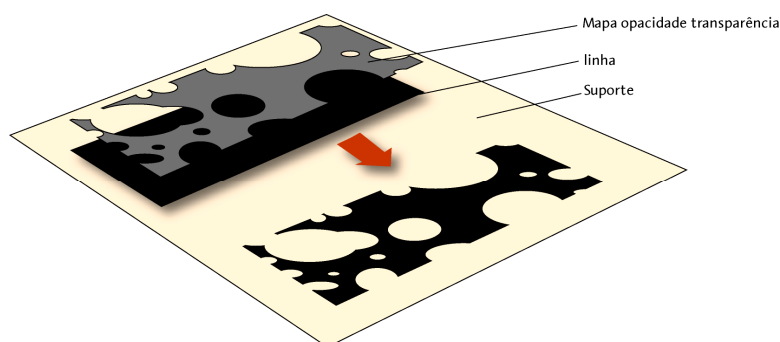


Figura 5.24

A linha **a** da figura 5.25, anteriormente criada, tem uma espessura e tonalidade constante. O nosso objectivo é perturbar esta regularidade gráfica registada ao nível da textura e da espessura. Começemos pela alteração da textura.

²⁴ Para melhor compreensão dos mapas de transparência ver capítulo 3.1.4.

Ao aplicarmos um mapa de OT na linha **a** estamos a criar zonas de transparência no corpo da linha, permitindo revelar a superfície que está por debaixo:

- Quando o mapa é do tipo gradiente obtemos uma linha de tonalidade gradiente, imitando assim a progressiva pressão que o desenhador imprime no papel (figura 5.25);
- se o mapa é uniforme a textura da linha não sofre qualquer alteração (figura 5.27);
- num mapa do tipo *bitmap*, podemos simular uma linha com uma textura muito próxima dos desenhos convencionais (figura 5.26);
- ao associarmos dois mapas, OT, gradiente e bitmap, a plasticidade da linha aumenta substancialmente (figura 5.28).

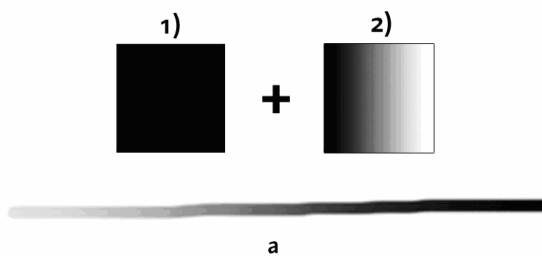


Figura 5.25

- 1) Cor da linha
- 2) Mapa transp./opacid. gradiente

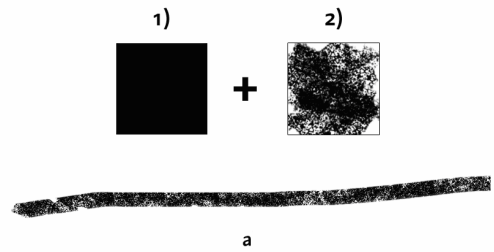


Figura 5.26

- 1) Cor da linha
- 2) Mapa transp./opacid. a bitmap

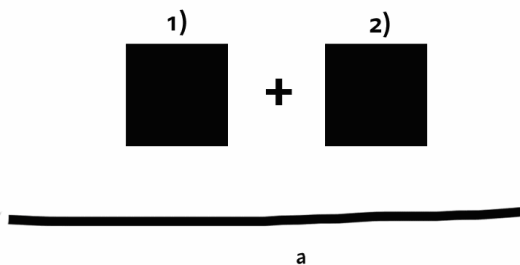


Figura 5.27

- 1) Cor da linha
- 2) Mapa de transp./opacid. uniforme

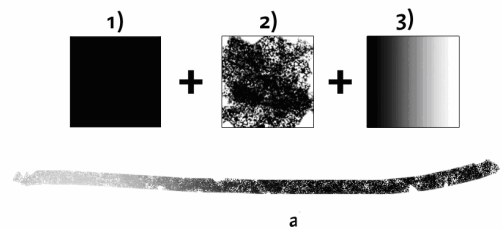


Figura 5.28

- 1) Cor da linha
- 2) Mapa transp./opacid. bitmap
- 3) Mapa transp./opacid. gradiente

Mapa de deslocação geométrica (displacement)

O mapa de deslocação geométrica permite alterar a espessura da linha. Este mapa é considerado um modificador de superfície, comum a muitos sistemas de modelação 3D. Com este mapa/modificador criamos uma deslocação na geometria da linha recorrendo, para tal, a um mapa procedural. São as zonas brancas do mapa procedural que provocam uma deslocação na geometria da linha, como podemos verificar na figura 5.29, ao invés das zonas negras que mantêm inalterada a geometria da mesma.

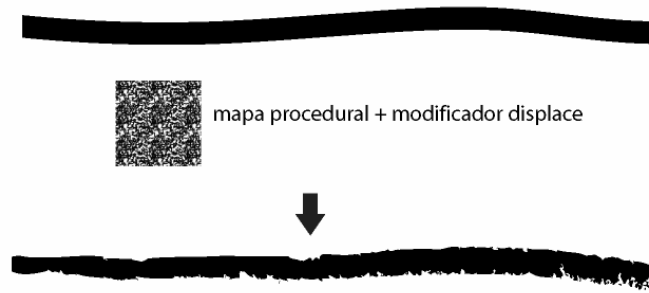


Figura 5.29

Concluindo, com a integração de todos estes procedimentos obtemos os seguintes resultados:

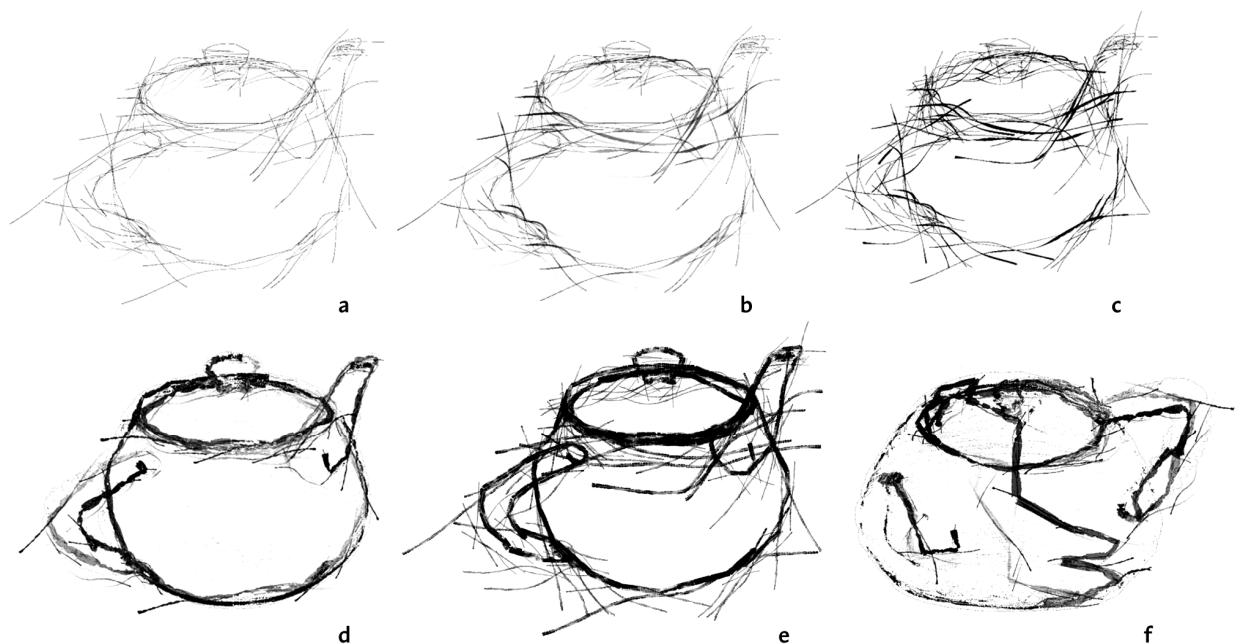


Figura 5.30
a linhas uniformes; b linhas gradientes; c linhas gradientes e texturadas; d linhas texturadas; e e f variações.

5.2.2.2.3 Superfícies em Oclusão

Como já referimos, nas técnicas tradicionais de desenho a representação de superfícies em oclusão é bem mais complexa e rica que a simples omissão gráfica dos planos escondidos. Portanto, é fundamental dotar o protótipo de soluções gráficas capazes de tratar as oclusões dos objectos de forma idêntica à dos desenhos tradicionais.

A solução técnica adoptada recorre a modelos de cálculo de iluminação constante para sintetizar um conjunto de imagens que por si servirão para calcular as oclusões entre os objectos presentes no cenário.

Passamos a descrever detalhadamente o funcionamento da solução técnica e posteriormente faremos a aferição dos resultados obtidos.

Primeiramente, temos de analisar o cenário ao nível da iluminação – identificar as zonas iluminadas, zonas de luz ambiente e as zonas em sombra (fig. 5.31 a). De seguida, e em função da identificação anterior, criamos um canal de transparência (*alpha channel*), constituído da seguinte forma: nas zonas de forte iluminação aplicamos um tom branco; nas zonas de luz ambiente um tom cinzento; nas zonas em sombra um tom preto. Na imagem resultante é perceptível uma certa uniformidade tonal e uma linearidade em cada zona criada (fig. 5.31 b). Isto compromete a aparência de “gestualidade” que procuramos aplicar aos desenhos. Resolvemos este problema, adicionando um mecanismo de *random* (mapa de ruído), de forma a criar uma certa imprevisibilidade gráfica no canal de transparência, nas zonas de sombra e luz ambiente (fig. 5.31 c). Tal operação criou irregularidades tonais e consequentemente (porque se trata de um canal de transparência) variações de opacidade e transparência na imagem final (fig.5.31 d).

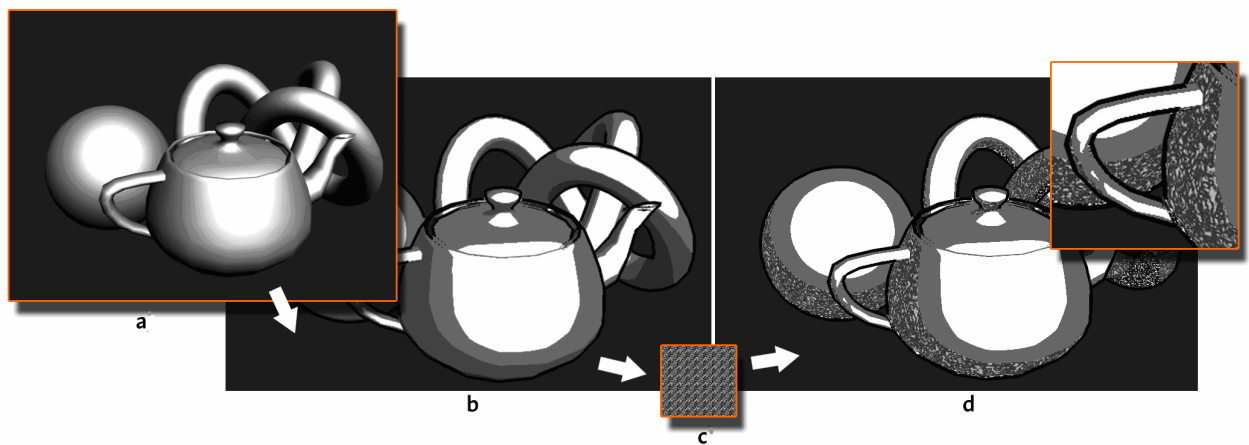


Figura 5.31
a imagem original; b canal de transparência; c mapa de ruído; d combinação dos mapas b e c.

De seguida, convertamos o canal de transparência numa imagem e assim, através de técnicas de opacidade e transparência²⁵, podemos recriar certos efeitos gráficos, a saber:

- limpar os traçados que estão nas zonas iluminadas dos objectos, recriando desta forma a técnica de apagamento descrita na figura 5.15;
- enfraquecer a intensidade gráfica dos traçados das zonas de iluminação ambiente, preservando, ainda que superficialmente, alguns vestígios dos esboços estruturais da primeira fase do desenho;
- manter inalterados os traçados nas zonas em sombra total.

Para todo este processo ser concretizável é necessário um conjunto de operações, as quais passamos a descrever.

Primeiro criamos uma imagem de proporções idênticas ao mapa de transparência anteriormente gerado e com um valor de RGB de 255 (branco). Posteriormente, recorreremos às duas imagens criadas nos

²⁵ Acerca dos mapas de transparência ver capítulo 3.1.4.

procedimentos anteriores (linhas de contorno dos objectos e expressão gráfica das linhas quanto à sua textura e intensidade tonal, figura 5.30). Temos assim três imagens: a imagem **a**, **b** e **c** (figura 5.32).

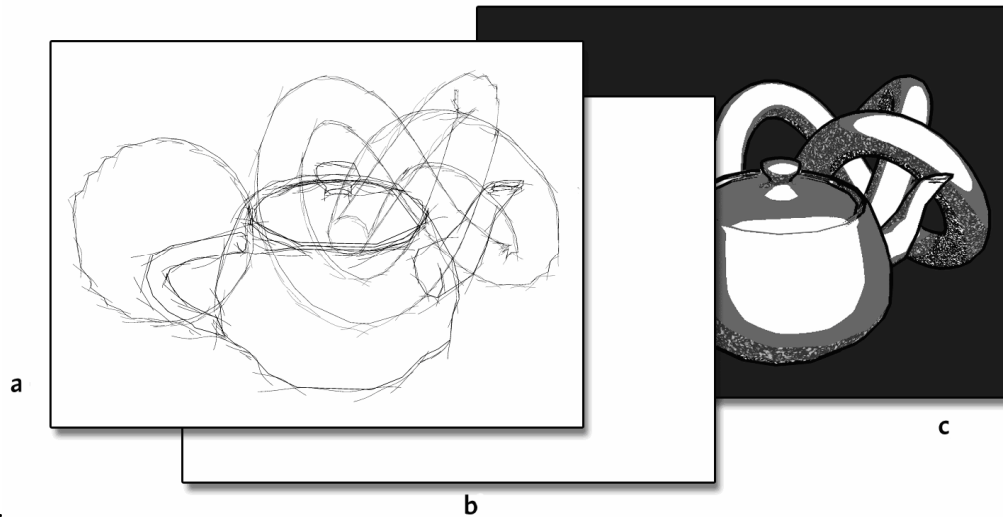


Figura 5.32

A imagem **a** é o resultado dos procedimentos anteriores. Como podemos observar, não há qualquer distinção gráfica entre as superfícies visíveis e as ocultas. A imagem **b** tem as mesmas dimensões da imagem **a** com um fundo branco. A imagem **c** é o canal de transparência anteriormente criado.

Precisamos de obter uma nova imagem oriunda da conjugação da imagem **a** com a imagem **b**, respeitando a imagem **c**, correspondente ao canal de transparência acabado de criar.

Para este efeito, aplicamos a seguinte operação aritmética onde os operandos são os valores de RGB de cada um dos *pixels* das imagens:

$$(a+c) \cdot c / b$$

a= pixel imagem **a** (desenho)
b= pixel imagem **b** (rgb (255,255,255) constante)
c= pixel imagem **c** (canal transparência)

Através destas operações aritméticas obtemos uma nova imagem, na qual podemos aferir a técnica de oclusão de superfícies anteriormente descrita.

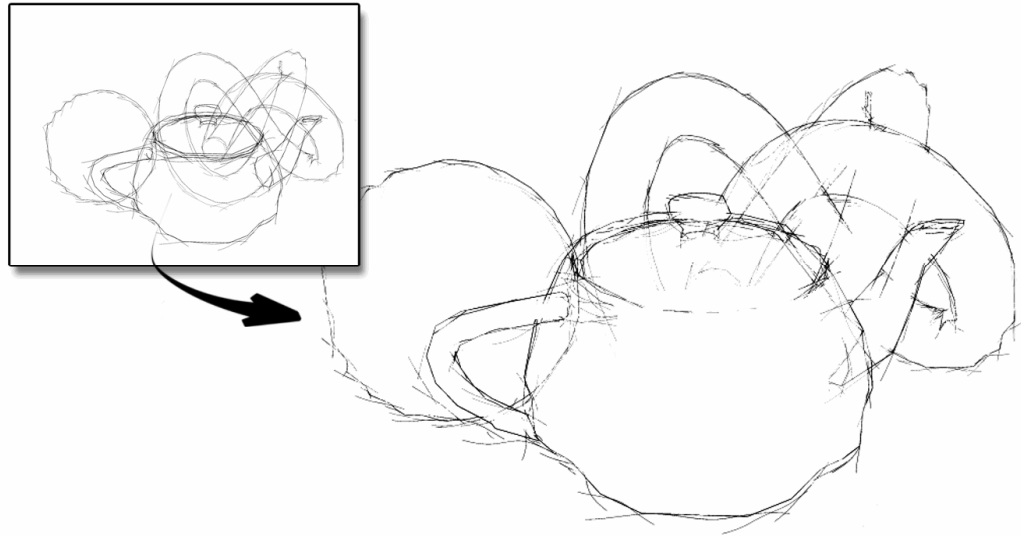


Figura 5.33

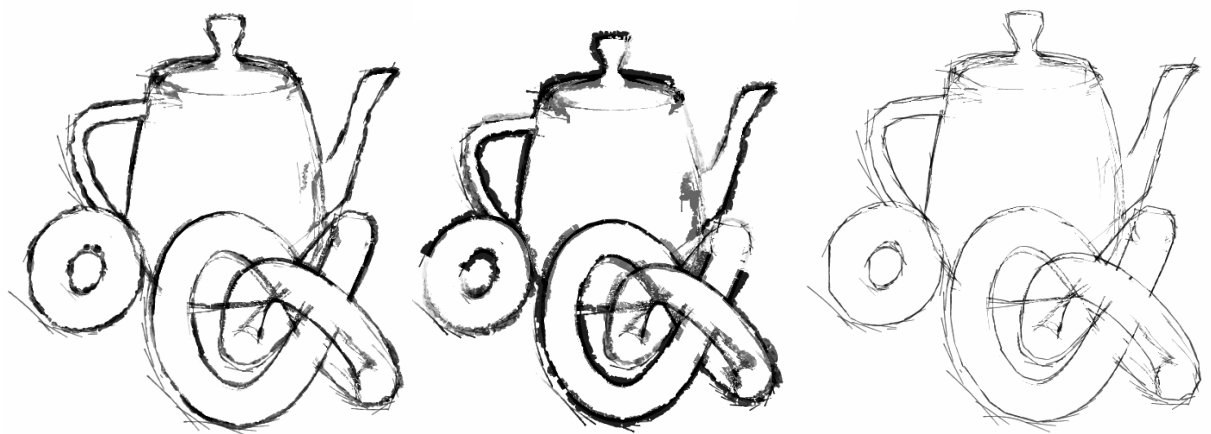


Figura 5.34

Estes desenhos são a síntese do segundo procedimento-chave – Afirmação formal.

5.2.3 Terceiro procedimento-chave – Enfatismo e Exclusão gráfica

5.2.3.1 O problema

Nos procedimentos anteriores mostramos as soluções técnicas adequadas para simular as diferentes fases por que passa uma obra de desenho. Nomeadamente, esboços para definição da estrutura dos objectos e o espaço que os rodeia e afirmação gráfica das formas dos objectos.

Findo este período de desenvolvimento, inicia-se um novo ciclo de produção.

No âmbito do desenho dito tradicional, esta fase de trabalho requer do desenhador um profundo conhecimento das qualidades formais dos objectos que compõem o cenário. Os erros formais (ao contrário das fases anteriores) não são tolerados, logo é necessária uma constante concentração durante a execução do desenho, uma atenta observação dos modelos a representar e um domínio técnico apurado. Só respeitando estas premissas o desenhador poderá aspirar à criação de um desenho, caso seja essa a sua intenção, fiel à realidade visual. Sumariamente, é um ciclo de trabalho caracterizado por uma grande actividade visual e técnica.

O respeito pelas exigências operacionais anteriormente descritas permitiu-nos o desenvolvimento da solução algorítmica capaz de recriar o método de trabalho do desenhador. Os resultados obtidos mostram que a técnica utilizada permite gerar grafismos de qualidade, não só na imitação da realidade visual como também, condição indispensável, na reprodução das particularidades plásticas do desenho humano.

Antes de continuarmos é fundamental, para uma melhor compreensão das decisões técnicas que tomámos, formular um conjunto de questões cruciais, orientadoras da progressiva exposição do problema a resolver:

- Quais as motivações do desenhador e quais as informações visuais procuradas no momento de observação do cenário que pretende representar?
- Qual a importância dessas informações na disciplina de desenho e que tipo de manifestações técnico-expressivas produzem no desenho?
- Por fim, de que forma todas estas questões condicionam o método de desenho?

Estas questões constituem o cerne do terceiro procedimento-chave. Para encontrarmos as respostas temos de penetrar em dois domínios muito específicos: o da percepção visual e o das técnicas de desenho. Assim, vamos de imediato procurar responder às questões apresentadas e, em conformidade com as respostas obtidas, desenvolver as soluções técnicas para aplicação na Máquina de Desenho.

Vimos no capítulo sobre “Percepção Visual” que o acto de ver, numa perspectiva fisiológica, é uma reacção de causa-efeito do sistema visual humano à luz exterior. No entanto, perceber implica tomar conhecimento sensorial dos objectos e do espaço que os rodeia. Neste sentido, podemos imaginar a quantidade de estímulos sensoriais que a visão acolhe num curto espaço de tempo e, por consequência, o nível de conhecimento sensorial que desencadeia: a percepção do peso dos objectos, as proporções, a percepção do espaço, as qualidades das superfícies ao nível das texturas, reflexão, refração, transparências, os fenómenos lumínicos como a sombra, a luz e a penumbra e o tipo de manifestações visuais que provocam.

Perante tal profusão de estímulos sensoriais, o Sistema Visual Humano (SVH) precisa de um mecanismo de selecção que permita lhe fazer uma triagem dos estímulos considerados essenciais para a

compreensão da realidade. Este mecanismo, ou se quisermos, este campo visual pré-atentivo²⁶, (Neisser 1967), permite segmentar as formas e os fundos, dividindo-o em subgrupos, facilitando a apreensão e organização do mundo visível pelo SVH. Isto é a prova de que ver é um processo activo e selectivo (Hochberg 1968).

Outros factores contribuem para o “aprisionamento” do nosso olhar. Para além dos estímulos de carácter formal, nomeadamente ao nível da conjugação das formas, dos contrastes tonais e cromáticos, etc., outros de origem perceptivo determinam o comportamento do nosso olhar. Estamos especificamente a referir-nos ao esqueleto estrutural do campo visual²⁷.

Assim, respondendo à primeira interrogação que formulamos, as motivações do desenhador são de ordem objectiva por um lado e subjectiva por outro: objectiva, quando este, à priori, elege as formas principais do cenário e com base nestas, desenha a temática principal da sua obra; subjectiva, quando certas condicionantes sensoriais determinam o comportamento do SVH.

Esta dualidade de comportamentos faz do desenhador um indivíduo activo e comprometido, como muito gostam de o classificar os psicólogos da percepção (Koffka 1922; Gibson 1950; Neisser 1967; Hochberg 1968; Arnheim 1969; Gibson 1979).

Interessa-nos agora perceber quais são as consequências, ao nível da expressão gráfica, que este tipo de selecção sensorial activa provoca na obra de desenho. Isto coloca-nos perante a segunda interrogação anteriormente enunciada.

Se reunirmos um conjunto considerável de obras de desenho, onde a temática seja a representação figurativa da realidade, de imediato concluímos o seguinte: por mais que o desenho formalmente se aproxime da realidade visual, nunca a representa fielmente na totalidade. Isto, porque ao contrário da realidade, o desenho é sempre uma representação num plano bidimensional e monocular. Ainda assim, esta não é a mais proeminente das diferenças. Outras desigualdades advêm do facto de o desenho enfatizar certos pormenores formais e excluir outros da representação. Isto provém não só do mecanismo de selecção sensorial referido anteriormente, mas também do acto dinâmico e pessoal do desenhador que, agindo como uma espécie de colector de informações visuais, as representa depois nas mais variadas formas.²⁸

Concluímos assim serem fundamentais as técnicas de ênfase e exclusão gráfica ao nível da expressão plástica do desenho, não só porque revelam as decisões do desenhador, no momento em que executa a sua obra, mas também porque contribuem para a interpretação da realidade visual. Assim, é essencial repercutir tais práticas na máquina de desenho que pretendemos construir.

²⁶ Ver capítulo 2.2.4 “Atenção Visual”.

²⁷ Assunto devidamente explanado no capítulo 2.2.4 “Atenção Visual”.

²⁸ capítulo 4.3 Ênfase e exclusão.

Síntese do problema:

1. recriação de grafismos que representem, com um apurado grau de fidelidade, as características formais dos objectos, sem descurar as particularidade plásticas do desenho tradicional;
2. recriação dos comportamentos do SVH e sua consequente replicação na obra de desenho através de soluções gráficas adequadas.

5.2.3.2 A solução

5.2.3.2.1 Recriação de grafismos que representem, com um apurado grau de fidelidade, as características formais dos objectos

A partir do momento em que o desenhador define um conjunto de traçados reveladores da estrutura básica dos objectos e quando já consegue distinguir as formas do fundo, começa a representar as superfícies dos objectos no que diz respeito à textura, ao relevo, à transparência e opacidade; e à aparência das superfícies resultante dos fenómenos lumínicos, nomeadamente, as zonas de sombra, penumbra e luz.

Geralmente o desenhador, para recriar estas características de superfície e os fenómenos lumínicos associados, recorre a diversos componentes da gramática do desenho, mais especificamente a manchas/texturas e valores tonais.²⁹

As texturas/manchas e valores tonais representam importantes meios gráficos para a simulação de cenários realistas. Estes grafismos informam-nos acerca da direcção e do tipo de luz (luz ambiente, foco, reflexões, etc.), através dos diferentes valores tonais e da geometria dos objectos, recorrendo a múltiplas texturas, para referir apenas os mais importantes.

Assim, dada a extraordinária importância destes grafismos, desenvolvemos uma solução algorítmica que passamos de seguida a descrever:

Primeiramente, criamos um mapa de superfície (shader) que recrie os efeitos lumínicos, texturas das superfícies e os suportes de desenho. Este mapa de superfície está dividido em três classes:

- a. superfície (opacidade, sombreamento e luz especular);
- b. contorno (silhueta do(s) objecto(s));
- c. deslocamento geométrico.

Cada uma destas três classes tem funções autónomas e são responsáveis por:

²⁹ Acerca das potencialidades plásticas das texturas/manchas e sombreamento ver capítulo 3.1.3 Mancha/Texturas e capítulo 3.1.6 "Luz Sombra e Penumbra. Saliemos o facto de que nem todos os desenhos com intenções de representação figurativa exibem texturas que simulem as qualidades físicas das superfícies ou outras informações acerca das fontes de luz que iluminam o cenário. Esta ausência não inviabiliza a possibilidade de, objectivamente, identificarmos os objectos. No entanto, a representação de texturas de superfícies e os valores tonais para caracterização das intensidades lumínicas conferem à obra final um grau de verosimilhança inigualável.

- Classe a) simulação dos efeitos de luz, sombreamento e opacidade das superfícies.
- Classe b) funciona como um escantilhão, ou seja, delimita com rigor a silhueta do objecto. Todos os traçados fora da silhueta são expurgados, criando assim uma rigorosa definição formal do(s) objecto(s), contribuindo igualmente para um apurado grau de fidelidade formal.
- Classe c), tal como já descrevemos nos procedimentos-chave anteriores, provoca uma aleatória deslocação geométrica, conferindo ao desenho uma expressão mais humanizada. Estas variações podem ser criadas de duas formas: ou através de processos *random* ou recorrendo a uma biblioteca de mapas *bitmap*, antecipadamente preparadas para o efeito.

Agrupamos todas as classes num único mapa de superfície e posteriormente aplicamo-lo a objectos, com coordenadas de mapeamento já definidas³⁰, obtendo, desta forma, resultados bastante satisfatórios, como comprova a seguinte imagem.

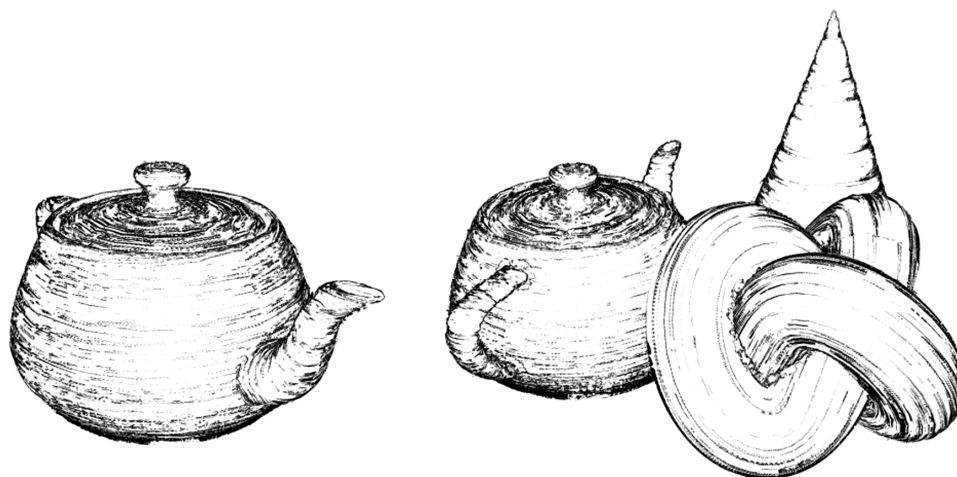


Figura 5.35

5.2.3.2.2 Recriação dos comportamentos do SVH e consequente replicação na obra de desenho através das soluções gráficas adequadas.

Compreendida a forte influência que determinados mecanismos da visão têm na tomada de certas decisões gráficas, coloca-se a questão: não será possível recolher, sob a forma de dados estatísticos, os comportamentos da visão do desenhador e assim repercutir tais comportamentos num sistema de desenho? De facto, tal intento é possível de obter através de um mecanismo chamado de eyetracking (capítulo 2.1.3 “Atenção Visual / eyetracking”). Este dispositivo permite analisar rigorosamente todos os movimentos oculares do observador, gerando um relatório estatístico dos dados adquiridos.

Tendo por base as investigações de Santella e DeCarlo acerca dos processos de estilização e abstracção de imagens através de dispositivos de rastreio visual (eyetracking) (DeCarlo and

³⁰ Sobre mapas de superfície ver capítulo 3.1.4.

Santella 2002; Santella and DeCarlo 2004), desenvolvemos um procedimento técnico que permite recriar os efeitos gráficos de ênfase e exclusão visual no desenho através do movimento dos olhos. A solução técnica que vamos apresentar estabelece uma relação de causa-efeito entre as fixações do olhar em determinadas regiões da imagem e a ênfase gráfica das mesmas no desenho.

Sumariamente podemos descrever este procedimento da seguinte forma:

- O utilizador/desenhador observa durante um determinado período de tempo o cenário que pretende representar sob a forma de desenho. Durante este período são gravados, através do *eyetracking*, todos os movimentos dos olhos;
- Análise estatística dos dados adquiridos subdividindo-os em duas categorias:
 - a. quantificação do tempo dispendido em certas zonas do cenário;
 - b. definição do percurso protagonizado pelos olhos do observador (*scanpath*);
- Criação de diagrama representativo da análise estatística a que convencionamos chamar de “Diagrama de Destaque Visual” (LDV);
- Criação de desenho enfatizando as zonas de forte actividade visual, excluindo as outras de fraca actividade visual, recorrendo para tal ao diagrama LDV.

Genericamente, para a criação do desenho referido o nosso sistema recorre a mapas de transparência que funcionarão como filtros: nas regiões da imagem onde se pretende enfatizar os grafismos, o mapa é completamente transparente, revelando todos os procedimentos-chave anteriormente criados; nas zonas da imagem onde se pretende excluir um determinado grafismo, o mapa fica totalmente opaco, mostrando apenas alguns grafismos estruturais de fraca intensidade tonal. Outras zonas, denominadas de transição, são criadas recorrendo a mapas semitransparentes, permitindo desta forma exibir alguns grafismos de reduzida intensidade tonal.

Estes mapas de transparência mais não são do que imagens *bitmap* geradas por intermédio do *eyetracking* através do seguinte critério operativo: nas zonas da imagem onde o olhar despendeu um tempo considerável é gerada uma região de pixels com valores de RGB que vão do 0 (preto - correspondendo à zona central da retina) ao 250 (cinzento - condizendo com a zona periférica da mesma). Nas restantes regiões da imagem o valor de RGB é de 255 (branco)³¹ (figura 5.36).

Para garantir que a qualidade expressiva da imagem final não é perturbada por uma certa homogeneidade tonal aplicamos ao mapa de transparência um algoritmo de *random*.

³¹ É muito frequente os dispositivos de *eyetracking* gerarem relatórios sob a forma de gráficos (*hotspots*). Apenas precisamos de incluir nestes dispositivos uma rotina que permita transformar os *outputs* em imagens *bitmaps*, com os valores de RGB pretendidos.

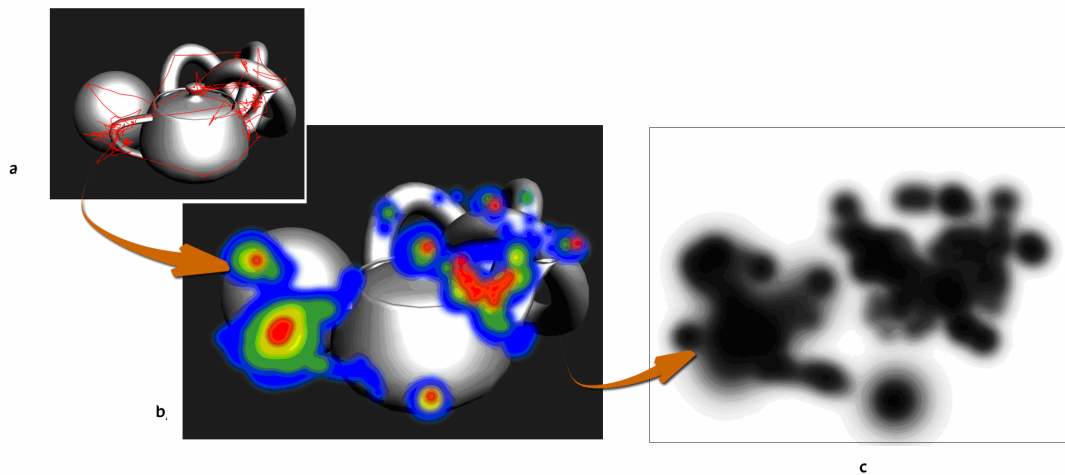


Figura 5.36
a captura do movimentos dos olhos; **b** gráfico gerado pelo sistema ET em função do movimento dos olhos; **c** mapa de transparência.

Este mapa, como já o dissemos, será o filtro de transparência entre os diferentes procedimentos-chave anteriormente criados. Para este efeito, aplicamos um cálculo aritmético entre os valores de RGB da imagem **a** (correspondendo à forma mais enfatizada do desenho) e o diagrama LDV (imagem **b**), que servirá como mapa de transparência, resultando assim na exclusão de grafismos no desenho (figura 5.3.7).

$$a+b / (b/255)$$

a= pixel imagem a
b= pixel mapa de transparência

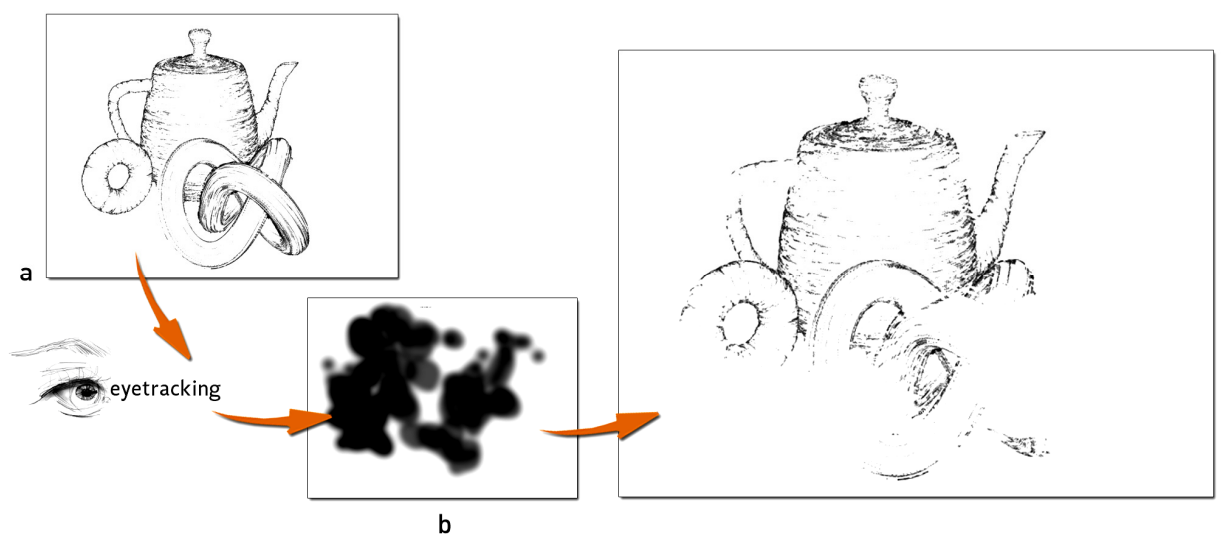


Figura 5.37

5.2.4 Quarto procedimento-chave - Composição

5.2.4.1 O Problema

Compor é combinar, pôr em conjunto, é exactamente isto que vamos fazer.

Propositadamente, apresentamos parcelarmente os sucessivos momentos operacionais por que passam as obras de desenho convencionais. Todavia, já o dissemos, esta é uma artificial segmentação que tem como única intenção facilitar o desenvolvimento de uma metodologia de implementação. Chegados a esta fase é tempo de pôr em conjunto todos os procedimentos anteriores para se obter o desenho final.

Grosso modo, o nosso protótipo é composto por três categorias operacionais: esboços estruturais (primeiro procedimento); acentuação das formas ao nível da expressão gráfica, linhas de contorno, superfícies em oclusão (segundo procedimento); ênfase e exclusão gráfica (terceiro procedimento). A este conjunto operacional temos ainda de acrescentar uma segunda categoria – o suporte.

O cerne do problema que temos de resolver, nesta fase de implementação, está na forma como vamos conjugar numa única imagem todas as categorias anteriormente mencionadas, respeitando no entanto, as qualidades plásticas de cada uma delas.

5.2.4.2 A solução

A solução que desenvolvemos para responder ao problema levantado baseia-se na junção de cada uma das categorias anteriores numa única imagem. Para este efeito, tratamos cada categoria como sendo uma camada. Cada uma destas camadas gera um *output* na forma de imagem *bitmap*. De seguida, elaboramos uma operação aritmética apropriada ao nível dos valores de RGB de cada um dos *pixels* que compõem os *bitmaps*. Esta operação origina uma imagem final, que mais não é do que a soma de todas as outras. Porém, temos de ter em atenção os diferentes graus de intensidade tonal de cada uma das camadas em função da sua importância visual. Ou seja, não queremos que os primeiros esboços estruturais, executados com linhas pouco carregadas, ganhem uma expressão gráfica igual ou superior à das texturas. Assim, foi preciso definir um valor percentual de opacidade para cada uma das camadas.

Finalmente, após a conjugação de todas as anteriores camadas, é aplicada uma quarta camada, que representa o suporte de desenho. Esta última recorre a um banco de imagens com diferentes texturas de papel.

Passemos a analisar o pseudo-código implementado para resolução de todos estes problemas:

Começamos pela junção das três primeiras camadas de desenhos, tendo em atenção um valor percentual de mistura entre ambas.

```

Pseudo-código:
//variáveis
a = camada 1 (linhas estruturais);
b = camada 2 (afirmação gráfica);
c = camada 3 (ênfatiso e exclusão gráfica);
d = imagem final;
mix = % (valor de opacidade);
total_px = array (contem o número de pixels de cada camada e o seu respectivo valor de RGB);
fundo = *.bmp; (suporte de desenho, textura do papel)

//ciclo
for h = 1 to (total_px) (
//aplica operação aritmética em que os operandos são os valores de RGB de cada pixel que
compõem as três camadas
a = a . mix/100; // calcula percentagem de opacidade
b = b . mix/100; // calcula percentagem de opacidade
d = a + b; // junta as duas primeiras camadas
d = d . a . c; // junta as três camadas
); // fim ciclo

//apresenta imagem final

```

Com estes procedimentos obtemos o seguinte resultado:

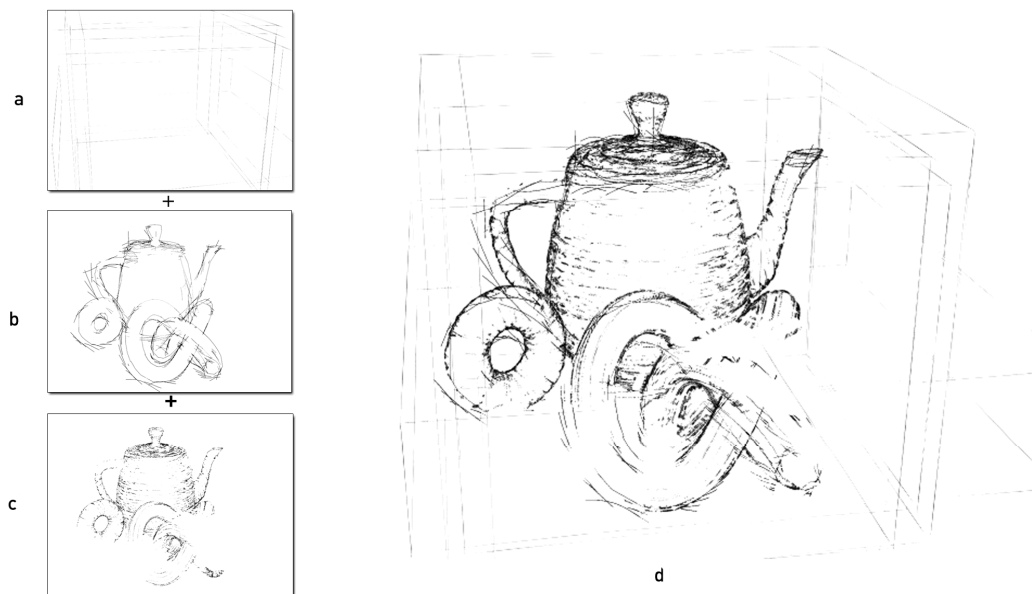


Figura 5.38

a desenho de linhas estruturais; **b** desenho afirmação formal; **c** desenho ênfatiso e exclusão; **d** desenho final.

Posteriormente aplicamos um procedimento que permite definir as qualidades ao nível da cor e textura do suporte de desenho, recorrendo para tal a um banco de imagens previamente definido.

Pseudo-código:

//aplica textura do suporte

$t_map = d$ // converte a imagem d) em mapa de transparência

$e = \text{load fundo.jpg};$ //carrega textura do banco de imagens

$f = (d+e) \cdot e/t_map$

//apresenta imagem f

// fim

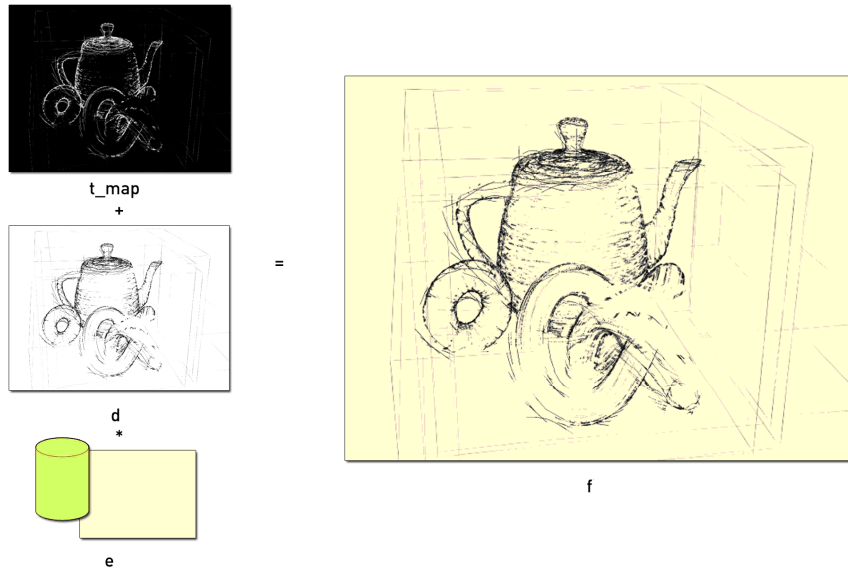


Figura: 5.39

t_map mapa de transparência; **d** três camadas de desenho; **e** imagem do suporte disponível num banco de imagens; **f** imagem final.

Nesta última fase, não só integramos todas as anteriores etapas do desenho como também mostramos um processo de inclusão de diferentes suportes. Os resultados evidenciam um desenho com qualidades plásticas aprimoradas.

Fica assim concluído o quarto e último procedimento-chave.

6. Avaliação

“É mais fácil fazer um altar do que sobre ele fazer descer uma divindade para o habitar.”

Beckett

6. Avaliação

A construção de um sistema capaz de recriar desenhos similares aos produzidos por mão humana exige uma profunda reflexão sobre as metodologias de trabalho dos desenhadores. Para tal, dever-se-á proceder a uma exaustiva investigação das práticas de desenho de observação do real e a uma meticulosa avaliação das qualidades técnico-expressivas dos desenhos durante as suas diferentes fases de execução.

Utilizando este processo de trabalho, foi possível construir uma máquina de desenho capaz de produzir resultados de qualidade e (como foi nosso objectivo) comprometida com um determinado género – a representação do real.

Deste modo, é imperioso proceder à avaliação das soluções adoptadas na Máquina de Desenho e de que forma estas vão ao encontro das mais exigentes opiniões dos profissionais das artes visuais.

Vamos, no presente capítulo, apresentar uma reflexão crítica sobre os desenhos gerados pela Máquina de Desenho, em diferentes fases, bem como a eficácia das metodologias adoptadas.

Em seguida, descrevemos pormenorizadamente os diversos aspectos considerados necessários para a clarificação do processo de avaliação: perfil dos participantes; materiais e instrumentos adoptados; dados estatísticos e outros devidamente tratados.

6.1 Metodologia

Para cada um dos procedimentos-chave enunciados, foram concretizadas acções de avaliação que visaram, sobretudo, estimar as qualidades técnico-expressivas dos grafismos gerados.

Classificamos o método de avaliação adoptado de heurístico: convidamos um grupo de observadores com experiência pedagógica e profissional na área das artes visuais, profundamente conhecedores das técnicas de desenho de observação, para avaliar as qualidades plásticas dos desenhos obtidos em cada um dos quatro procedimentos-chave, bem como os resultados da metodologia que implementamos no sistema, tendo sempre como modelo de comparação os desenhos convencionais de observação do real.

Estas avaliações foram produzidas através de inquéritos realizados presencialmente, nos quais todos os participantes registaram as suas opiniões (anexo A).

Devido à especificidade operativa desta primeira unidade de avaliação, estruturamos o inquérito recorrendo sobretudo a factores de apreciação de cariz tecnicista. Assim, dividimos o inquérito em quatro secções:

1. **Dados pessoais e habilitações académicas** - para caracterização da amostra.
2. **Aspectos de cariz metodológico** – para avaliação das metodologias de desenho e o seu impacto no sistema.
3. **Aspectos relacionados com as qualidades plásticas dos desenhos** – para avaliação das qualidades expressivas dos desenhos gerados pelo sistema.
4. **Avaliação sumativa** – Sugestões e comentários.

Acompanharam estes inquéritos cinco imagens geradas pela máquina de desenho. Duas das imagens mostram os resultados finais, sendo submetidas para a avaliação nas secções 3 e 4. As restantes imagens mostram as diferentes fases de trabalho por que passa o desenho, denominadas no sistema de procedimentos-chave. Estas últimas foram avaliadas na secção 2.

6.2 Análise dos resultados

Ao realizarmos a avaliação da amostra, concluímos que o inquérito foi respondido por vinte e seis elementos, dos quais 70% são do sexo masculino e 30% do sexo feminino. A média de idades ronda os 30 anos.

Quanto às habilitações dos inquiridos, 90% são licenciados e os restantes 10% têm grau de mestre. Ao nível da formação, 24% são professores de Artes Visuais, os restantes são artistas plásticos de três áreas específicas: 30% pintores; 8% escultores; 38% artistas gráficos.

Relativamente à alínea a) do ponto 2 “Qualidades plásticas dos desenho”, era pedido aos inquiridos para avaliarem certos aspectos formais observados num determinado desenho gerado pela máquina de desenho (anexo A, desenho A), nomeadamente ao nível da configuração das formas (alínea a), 68% do inquiridos respondeu observar formas volumétricas, apenas 4% respondeu formas planas e os restantes 28% responderam ambas. Inquiridos se as formas representam o maior peso na composição (alínea c), 85% respondeu que sim e 15% respondeu negativamente.

Quanto aos processos de registo gráfico das formas presentes no desenho (alínea d), 19% respondeu que estas foram desenhadas através de linhas, 8% através de valores e uma percentagem considerável (73%) respondeu pela combinação de ambos (linhas e valores).

Quando inquirimos acerca do género de formas identificadas no desenho (alínea e), obtivemos um conjunto de respostas consideráveis no item “**Formas orgânicas**, de contornos irregulares, descritas através de múltiplas linhas e marcas” (85%), “**Formas geométricas**, de contornos precisos e bem definidas” (11%) e só 4% afirmaram não serem perceptíveis quaisquer tipo de formas.”

No que concerne à alínea f) “Consegue distinguir as formas do fundo?”, 92% disse que “sim”, 0% que “não” e 8% afirmou “dificilmente”.

Em relação ao ponto 2.2 foi solicitado aos inquiridos a avaliação das diversas qualidades plásticas presentes no desenho, designadamente propriedades físicas dos objectos possíveis de identificar através de valores tonais (alínea a). 92% expressou identificar zonas de luz reflectida em determinadas zonas do desenho, os restantes 8% afirmaram não observar qualquer informação a este respeito. Quando inquiridos acerca do peso, estrutura e espaço, representados através de valores tonais, as respostas foram afirmativas, como bem expressa o gráfico da imagem 6.1

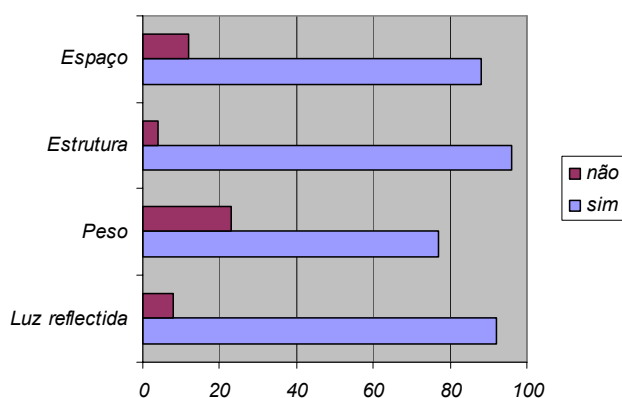


Figura 6.1

Análise das repostas acerca das propriedades físicas dos objectos representadas através de valores tonais.

No que concerne à função dos valores representados no desenho (alínea b, ainda no ponto 2.2), o grupo de pessoas inquiridas classificou-os de objectivos – “os valores desempenham funções de representação dos fenómenos visuais: luz, sombra, penumbra, etc.” (46%); 31% classificou-os de subjectivos – Os valores desempenham unicamente funções de cariz expressiva, 19% ambas as funções (objectivas e subjectivas); 4% não classificou.

Relativamente ao ponto 2.3 “Linhas” foi pedida a opinião dos participantes acerca das qualidades expressivas das linhas presentes no desenho A, nomeadamente: “qual a tipologia das linhas, as linhas ajudam ou não a perceber a natureza formal dos objectos e como caracteriza as qualidades plásticas da linhas” (alíneas a, b e c). O gráfico da figura 6.2 apresenta uma síntese das opiniões a este respeito.

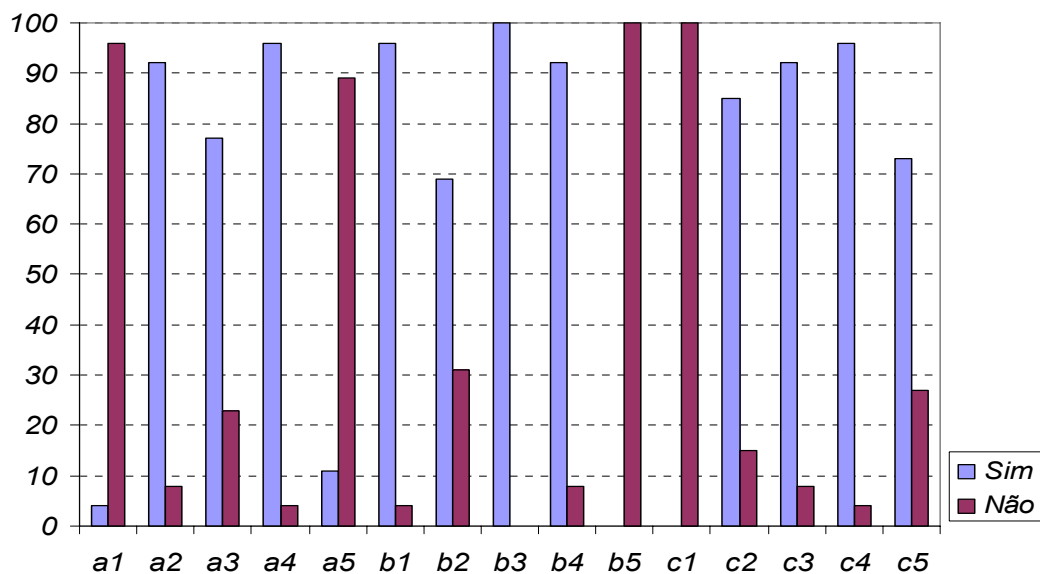


Figura 6.2

Análise das qualidades expressivas das linhas presentes no desenho A

Legenda:

a) Que tipo de linhas de contorno estão representadas no desenho?

- a1 - Linhas precisas ou controladas – geralmente unidas e de traçados precisos e espessura uniforme;
- a2 - Linhas pronunciadas – os contornos exageram e distorcem a representação dos modelos,;
- a3 - Linhas topológicas – linhas verticais e horizontais percorrem a topologia dos objectos definindo a variação de planos;
- a4 - Linhas de espessura variável – a espessura das linhas é variável devido a variações de pressão provocadas pelo gesto;
- a5 – Outras.

b) As linhas ajudam a perceber a natureza formal dos objectos,

- b1 - Explicando a estrutura visível e invisível dos objectos,;
- b2 - Estabelecendo relações entre os objectos e o espaço;
- b3 - Criando pontos de intersecção e ângulos;
- b4 - Estabelecendo relações de proporção entre os diversos objectos, tangências e perpendiculares;
- b5 - As linhas não definem qualquer tipo de objectos.

c) Como caracteriza, ao nível das qualidades plásticas, as linhas representadas no desenho?

- c1 - Lineares – segmentos de recta perfeitos e sem vestígios de oscilação;
- c2 - Linhas imprevistas – graficamente irrepitíveis, oscilantes, de espessura, densidade, posição e comprimento inconstante;
- c3 - Linhas irregulares – as intensidades tonais e distribuição das linhas no espaço de representação é irregular;

- c4 - Linhas de espessura variável – a espessura variável devido a variações de pressão provocadas pelo gesto do desenhador;
- c5 – Outras.

No que concerne ao ponto 2.4 “Texturas” (alínea a), grande parte dos participantes neste inquérito afirmou que as texturas simulam as superfícies de modo convincente (81%). No entanto, 4% discorda desta opinião. Os restantes 15% expressaram “dificilmente”.

Ainda neste ponto, os inquiridos expressaram as suas opiniões acerca do tipo de texturas presentes e como plasticamente as descreveriam (alíneas b e c). Para avaliação destes resultados, apresentamos uma síntese através do gráfico da figura 6.3.

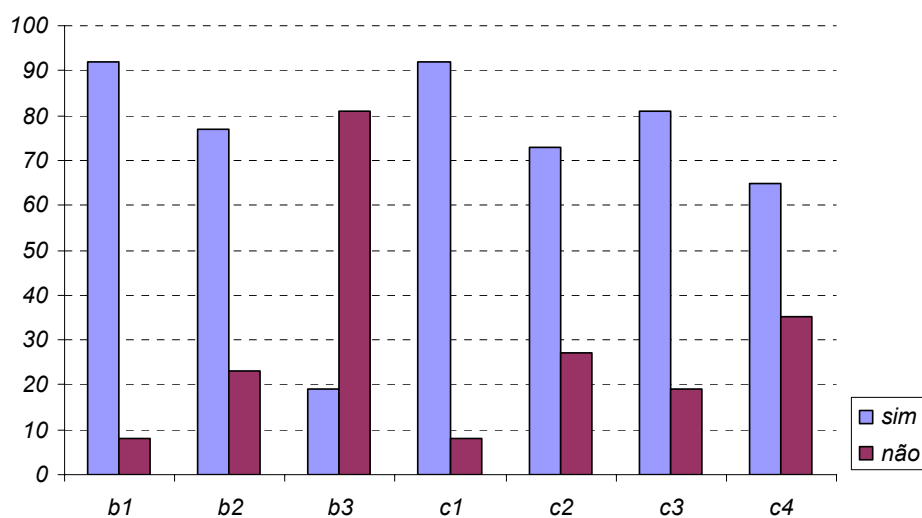


Figura 6.3

Análise dos resultados referentes ao tipo de texturas e descrição plástica, presentes no desenho A.

Legenda:

b) Que tipo de texturas estão representadas no desenho?

- b1 - *Texturas tramas* – geradas por um conjunto de linhas e (ou) pontos, mais ou menos afastados entre si, por vezes cruzados;
- b2 - *Texturas Manchas* – geradas por um manchas mais ou menos uniformes e de tonalidades variadas que preenchem uma determinada superfície;
- b3 – Outras.

c) Como descreveria as texturas representadas no desenho?

- c1 - As texturas procuram imitar os fenómenos físicos das superfícies, recorrendo para tal a múltiplas variações tonais de claro-escuro, no sentido de representar a luz, sombra e penumbra.

- c2 - As texturas resultam das propriedades físicas dos suportes e materiais riscadores: granulidade e dissolvência dos médios;
- c3 - As texturas são unicamente resultantes do processo de desenho: zonas de contraste visual; efeitos rítmicos; preenchimento de superfícies; destaque da forma fundo;
- c4 - Outras.

No que respeita às metodologias adoptadas pela máquina de desenho (ponto 3. “Metodologias”), pedimos a opinião dos inquiridos acerca dos resultados obtidos nas diferentes fases de desenho (desenho b, c, e d – Anexo 2).

A primeira fase “Desenho analítico” (ponto 3.1.1), foi dividida em dois subgrupos: “Estruturação gráfica” e “Acentuação Gráfica”.

Pretendia-se com o primeiro subgrupo verificar de que forma o sistema simula os grafismos estruturais, considerando que 1 representava a opinião “não se verifica” e o nível máximo (5) “verifica-se claramente”.

Podemos aferir os resultados deste ponto no gráfico da figura 6.4.

Na análise do referido gráfico podemos concluir que uma parte substancial dos inquiridos considera que o desenho apresenta um conjunto de marcas e sinais que representam a estrutura elementar dos objectos representados (nível 4). Em relação à forma como o desenho expressa as estimativas visuais, revisões alterações e retoques (alínea e), o nível escolhido foi mediano (nível 3). De salientar que o nível 1 (não se verifica), dado que não foi expresso por nenhum dos participantes no inquérito.

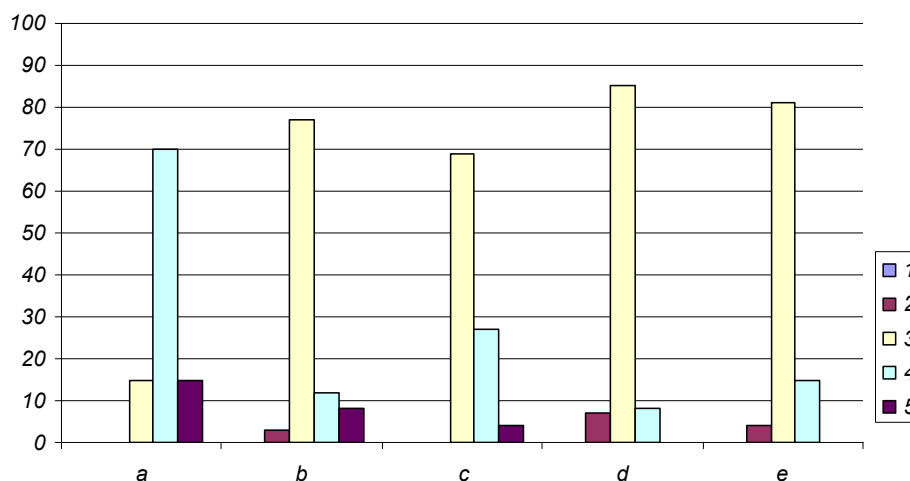


Figura 6.4

Gráfico representativo das opiniões dos inquiridos acerca das qualidades do desenho estrutural (imagem B)

Legenda:

- a - O desenho apresenta marcas e outros sinais gráficos que denunciam a estrutura elementar dos objectos.
- b - As linhas estruturais definem correctamente a orientação espacial dos objectos no cenário.
- c - As linhas estruturais apresentam grande expressividade gestual e traçados irregulares.
- d - As linhas estruturais são graficamente subtis e pouco marcadas.
- e - São perceptíveis no desenho certos grafismos estruturais que denunciam as estimativas visuais, revisões, alterações e retoques que o desenhador fez ao longo do desenho.

No que concerne ao segundo subgrupo, “Acentuação gráfica” (ponto 3.1.2), adoptámos o mesmo modelo de avaliação referido no subgrupo anterior. Os inquiridos consideraram que no desenho C se verifica uma razoável separação entre a forma e o fundo (alínea c – nível 3), 62% é da opinião que é possível identificarem-se razoavelmente as formas dos objectos (alínea b – nível 3). Destacam-se também os resultados obtidos em relação à alínea e) “representação das oclusões”, mais de metade é da opinião que se verifica razoavelmente. Para uma apreciação mais pormenorizada, ver o gráfico que se segue (figura 6.5).

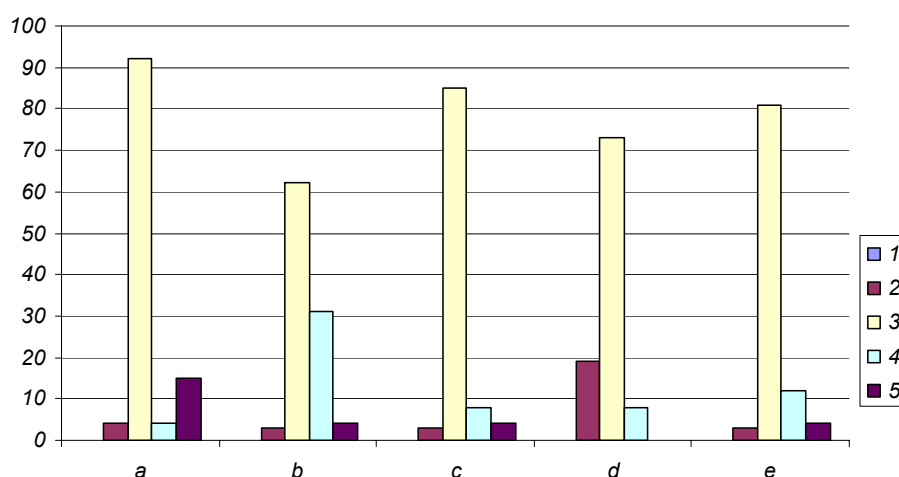


Figura 6.5

Gráfico representativo das opiniões dos inquiridos acerca das qualidades da fase de desenho “Acentuação gráfica (desenho c)

Legenda:

- a - O desenho apresenta linhas bem definidas, de valor tonal intenso e preciso.
- b - É fácil e clara a identificação das formas no desenho.
- c - As linhas criam contornos fechados permitindo uma fácil separação entre a forma e o fundo.
- d - É notória uma certa profundidade espacial
- e - As superfícies em oclusão estão bem representadas.

Ainda no ponto 3, quisemos saber qual a opinião dos participantes em relação às importantes decisões de ênfase e exclusão gráfica implementadas na máquina de desenho. Neste sentido, os inquiridos observaram o desenho D e expressaram a sua opinião utilizando a mesma métrica dos pontos anteriores. Como podemos observar no gráfico da figura 6.6, os resultados revelam a capacidade do sistema para gerar desenhos que simulam razoavelmente este procedimento técnico. Destaca-se as alíneas **a** e **b**, nas quais os inquiridos expressaram “verifica-se evidentemente (nível 4)” focos visuais e um elevado grau de representação dos objectos (desenho D).

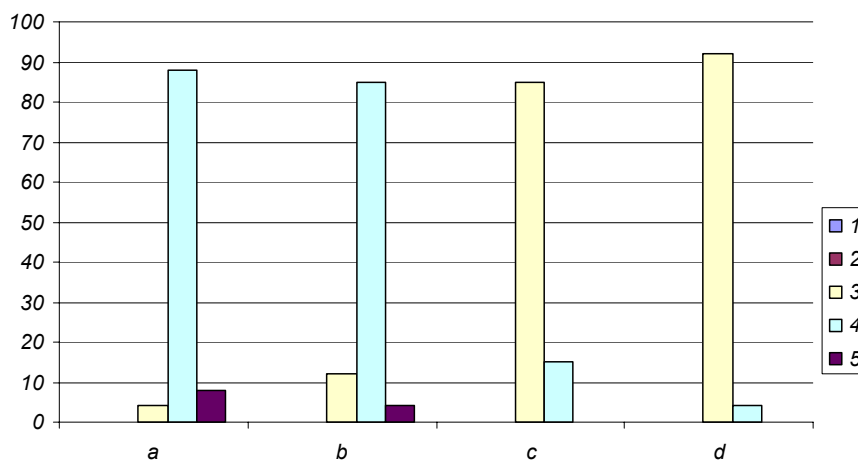


Figura 6.6 Gráfico representativo das opiniões dos inquiridos acerca das qualidades do desenho D, no que diz respeito ao “ênfase e exclusão gráfica.”

Legenda:

- a - O desenho apresenta um foco de atenção visual, caracterizado por uma grande quantidade de grafismos.
- b - Em certas zonas do desenho é possível identificar um elevado grau de fidelidade ao nível da representação formal.
- c - O desenho apresenta zonas onde apenas são perceptíveis vagos grafismos estruturais.
- d - O desenho apresenta zonas ligeiramente esboçadas. No entanto estas não comprometem a qualidade expressiva do mesmo.

Por fim, no ponto 4, confrontamos os inquiridos com três perguntas, duas das quais de resposta aberta, para aferirmos as qualidades globais dos desenhos obtidos e para angariarmos um conjunto de opiniões acerca do que poderia ser melhorado numa futura revisão da máquina de desenho.

Apresentámos o desenho E e inquirimos os participantes. As respostas mostraram-nos que a opinião destes acerca da qualidade gráfica (alínea a) é razoável para 68%, boa para 28% e medíocre para 4%. Na alínea b) questionamos sobre o valor expressivo do desenho, 12% considera má, 77% razoável,

12% de bom. A maioria dos participantes afirmou que o desenho apresenta um razoável grau de fidelidade formal (alínea c) (81%), 8% acha que é bom e 4% respondeu medíocre.

Muitos foram os comentários dos participantes acerca da máquina de desenho, expressos nas alíneas d) e e). Destacamos algumas das mais pertinentes observações:

- “Considero que os desenhos apresentados carecem de algumas qualidades expressivas, sobretudo ao nível da simulação de materiais de desenho: carvão, grafite, pastel, etc.”
- “Francamente julguei que os desenhos apresentados fossem digitalizações de desenhos originais. Destaco a forma como certas imprecisões gráficas estão representadas, as texturas, a qualidade plástica das linhas, etc. ...”
- “Gostei de certos grafismos estruturais perceptíveis nos desenhos. Este efeito torna os desenhos mais convincentes. No entanto, parece-me que há ainda algum trabalho a fazer ao nível das qualidades plásticas, de forma a conseguir uma maior aproximação aos desenhos ditos tradicionais.”
- “Difícilmente substituirei os meus projectos de desenho por este automatismo. Agora, acho que pode ser uma útil ferramenta, se aplicada em contextos pedagógicos, mais especificamente no ensino da disciplina de desenho. (...) Gostava de ver, em actualizações futuras, outras expressões plásticas.”
- “Sou escultor. O desenho na minha actividade profissional é meramente instrumental. Com esta ferramenta posso rapidamente fazer inúmeros desenhos, perceber a sua estrutura elementar. Gostei. Seria útil fazer uma animação de 360° utilizando este tipo de plasticidade gráfica.”
- “Considero os resultados muito interessantes. Gostava de poder imprimir-los para poder tocá-los, voltar a desenhar por cima deste suporte.”

6.3 Conclusão

No decorrer deste capítulo procurámos avaliar de forma clara e o mais concisa possível as qualidades plásticas dos desenhos gerados pelo protótipo, bem como as respectivas metodologias implementadas.

Avaliar desenhos, seja qual for a sua origem operativa, é sempre um assunto delicado devido ao grau de subjectividade que esta actividade encerra. No entanto, acreditamos que se estruturarmos este problema segundo uma didáctica operativa específica, é possível aferir certas particularidades técnico-expressivas que permitam qualificar de bom ou mau desenho. Neste contexto, fomos apresentando uma sucessão de opiniões resultantes dos inquéritos efectuados a diversos profissionais na área das Artes Visuais.

Os resultados finais mostraram-nos, julgando pelas respostas expressas, que os desenhos gerados pelo sistema correspondem aos objectivos predeterminados. No entanto, certas características técnicas e gráficas estão ainda por resolver, como bem atestam os comentários de alguns inquiridos.

Concluindo, julgamos que os resultados obtidos pela máquina de desenho podem ser considerados satisfatórios.

7. Conclusão

“Tem a coragem de servir-te da tua própria razão”
Kant (1781)

7. Conclusão

Iniciamos este capítulo com as conclusões aferidas através da avaliação do protótipo e, conseqüentemente, dos desenhos por ele gerados.

Posteriormente, descreveremos os aspectos relacionados com o trabalho futuro, quanto às funcionalidades a implementar no protótipo, didáticas de desenho e paradigmas associados.

7.1 Conclusões do trabalho

Afirmamos, na introdução da presente investigação, não termos a intenção de produzir um sistema ou programa capaz de imitar as qualidades expressivas dos desenhos humanos de forma a produzir obras de arte na verdadeira asserção da palavra. Foi nossa intenção produzir determinados automatismos, orientados para a realização de desenhos de observação do real. Estes automatismos, para estarem aptos a gerar desenhos semelhantes aos produzidos por mão humana, necessitam de incorporar determinadas técnicas e correspondentes metodologias de desenho.

Ao fazermos esta afirmação, posicionamos a nossa investigação numa área dedicada às práticas, técnicas e procedimentos de desenho.

Vamos agora apresentar as conclusões alcançadas, dividindo-as em três partes:

- a. metodologias de desenho aplicadas no protótipo;
- b. qualidades expressivas dos desenhos produzidas pelo sistema;
- c. síntese conclusiva.

Em relação às metodologias de desenho aplicadas no protótipo, designadamente estruturação formal dos objectos; acentuação; enfatismo e exclusão gráfica; composição, concluímos o seguinte:

- Em primeiro lugar, a divisão modular de todo o processo de desenho foi benéfica, pois facilitou a definição dos problemas em concreto e o desenvolvimento das soluções adequadas.

- Em segundo lugar, a integração das metodologias processuais adoptadas pelos desenhadores (desde que este inicia a obra de desenho até à sua conclusão) conferiu aos desenhos gerados pela máquina um aspecto menos artificial, ou se quisermos, mais “humanizado”.

Concluímos também que, ao incluirmos no sistema os primeiros traços criados pelos desenhadores, os quais servem geralmente para assinalar certas características estruturais do cenário (escalas, proporções, distâncias, etc.), melhorámos substancialmente a qualidade expressiva dos desenhos, contribuindo desta forma para resultados menos “artificiais”, logo mais próximos de uma certa aparência de desenho executado por mão humana.

No que concerne aos métodos de enfatismo e exclusão gráfica, concluímos, a julgar também pela opinião dos entrevistados, ter sido determinante a adopção do ET para simulação destes importantes procedimentos de desenho. Ao representar as formas consideradas visualmente

estimulantes (enfáticas) para o desenhador e, em antítese, ao não representar aquilo que é pouco estimulante (exclusão), conseguiu-se, na aparência final dos desenhos, uma certa selectividade muito frequentemente encontrada nos desenhos tradicionais.

Relativamente às qualidades plásticas e expressivas dos desenhos produzidos pela Máquina, verificámos que as soluções implementadas para simulação de certas características formais, ao nível da expressão das linhas, dos valores e das texturas, permitem obter resultados bastante satisfatórios, muito embora a representação de certas características plásticas dos traços caracterizadores dos diferentes media sejam ainda modestos. No entanto, apesar desta constatação, a recriação dos aspectos relacionados com as irregularidades, as variações de espessura, a forma dos traçados e a imprevisibilidade gráfica conferiu aos resultados finais um valor plástico particularmente rico e expressivo.

Um outro problema crítico, ainda não resolvido da melhor forma, reside na simulação de diferentes suportes de desenho. Como vimos, o sistema apresenta uma solução técnica. No entanto, este está ainda aquém das qualidades expressivas dos desenhos tradicionais.

Concluindo, construímos assim uma Máquina de Desenho capaz de recriar em muitos aspectos, determinadas características plásticas dos desenhos de observação do real.

Acreditamos que um dos principais factores a contribuir para a qualidade dos desenhos produzidos pelo sistema resultou do facto da orientação de todo o processo se ter desenvolvido em função das convencionais didácticas de desenho tradicional.

Mesmo nos momentos em que se exigia uma profunda dedicação às questões relacionadas com a algoritmia, nunca perdemos de vista o método de desenho e, conseqüentemente, os resultados produzidos no suporte.

Julgamos desta forma ter contribuído para a melhoria das qualidades dos modelos NPR que se dedicam à simulação de desenhos tradicionais.

Consideramos, a julgar pelos resultados obtidos nos inquéritos e pelas sugestões manifestas pelos inquiridos, que a Máquina de Desenho, nas mãos de profissionais das artes visuais, pode ser um excelente recurso de potenciação de novas experiências plásticas, bem como uma ferramenta didáctica na aprendizagem do desenho.

7.2 Trabalho Futuro

Esta dissertação apresentou um leque diversificado de soluções a implementar em trabalhos futuros. Salientamos duas possíveis áreas de desenvolvimento: criação de novas temáticas de desenho e a implementação de paradigmas computacionais para simulação de diversos media de desenho.

Descrevemos algumas ideias gerais a desenvolver no trabalho futuro:

- *desenho científico*: para públicos especializados, nomeadamente, a ilustração médica de modelos anatómicos, ilustração taxonómica e outras que, devido ao valor descritivo e à objectividade formal, fazem do desenho uma técnica insubstituível;

- *desenho de ilustração*: para produção de *story-boards*, banda desenhada e outro tipo de desenho onde impere alguma liberdade expressiva;

- *desenhos de animação*: para encurtar os tempos de produção típicos de um filme animado, bem como criar outras formas plásticas de expressão animada.

Ao nível da recriação de diversos materiais de desenho, destacamos:

- *Os suportes de desenho* (ponto crítico no nosso sistema) e outros materiais riscadores tradicionais, designadamente, lápis de grafite, pastel, carvão, etc.

Destacamos ainda outros aspectos relacionados com a composição visual, nomeadamente, simetrias, assimetrias, equilíbrios, focos visuais, ritmos formas, padrões, etc., que deveremos ter em conta num trabalho futuro.

Ainda dentro deste âmbito, ambicionamos para trabalho futuro a implementação de soluções que permitam produzir desenhos policromáticos.

Por fim, uma vez que o recurso técnico ao ET se apresenta bastante dispendioso e na eventualidade da sua indisponibilidade, num futuro próximo incluiremos uma considerável biblioteca de diagramas LDV, possibilitando assim a simulação de técnicas de ênfase e exclusão gráficas sem recorrer ao referido dispositivo.

Bibliografia:

- Arnheim, R. (1969). *Visual Thinking*. London, University of California Press.
- Arnheim, R. (1986). The two faces of Gestalt psychology, *American Psychologist*.
- Arnheim, R. (1957). *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye*, University of California Press.
- Atkinson, R. C. (1988). *Steven's Handbook of Experimental Psychology*. New York, John Wiley & Sons.
- Aumont, J. (1990). *L'image*. Paris, Éditions Nanthan.
- Bammes, G. (1995). *L'étude du corps humain: la pratique du dessin d'anatomie artistique, illustrée par les travaux d'artistes amateurs, d'enseignants et d'étudiants en art*. Paris, Dessain et Tolra.
- Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. New York, Applton-Century-Crofts.
- Betti, C. and T. Sale (1986). *Drawing a Contemporary Approach*. New York, Susan R. Katz.
- Blinn, J. F. (1995). *How to Drawn a Sphere - Part1*. Computer Graphics and Applications.
- Blinn, J. F. (1995). *How to Drawn a Sphere - Part2: Coordinate System*. Computer Graphics and Application.
- Blinn, J. F. and M. E. Newell (1976). *Texture and Reflection in Computer Generated images*.
- Carneiro, A. (1995). *Sujeito e Representação no Ensino e na Prática do Desenho/Projecto*. Porto, FAUP Publicações.
- Catmull, E. (1978). *The problems of Computer-Assisted Animation*, SIGGRAPH'78.
- Civardi, G. (1994). *Drawing Portraits*. Great Britain, Search Press.
- Coutts, R. and D. P. Greenberg (1997). *Rendering with streamlines*, Unpublished.
- Coutts, R. M. (1998). *Conceptual modeling and rendering techniques for arquitectural design*, Cornell University.
- DeCarlo, D. and A. Santella (2002). *Stylization and abstraction of photographs*, United States, Association for Computing Machinery.
- Decaudin, P. (1996). *Rendu de Scènes 3D imitant le style "dessin animé"*. France, Université de technologie de Compiègne.
- Dooley, D. and M. F. Cohen (1990). *Automatic illustrations of 3D geometric models: Surfaces*.
- Ferwerda, J. A. (2001). "Elements of early vision for computer graphics." *IEEE Computer Graphics and Applications* 21(5): 22-34.
- Flusser, V. (1998). *Ensaio sobre Fotografia - Para uma filosofia da técnica, Relógio de Água*; Titulo original: *Fur Eine Philisophie der Fotografie*
- Foley, J. D., A. V. Dam, et al. (1990). *Computer Graphics Principles and Practice*, Adison Wesley.

- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the Visual World*, Westport, Conn.: Greenwood Press
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston, Houghton-Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, Houghton-Mifflin.
- Goldstein, N. (1981). *Figure Drawing*. London, Prentice Hall.
- Gómez Molina, J. J., coord. (2002). *Máquinas y herramientas de dibujo*
- Gooch, A. and B. Gooch (2001). *Non-Photorealistic Rendering*. Massachusetts, A K Peters Natick.
- Gooch, A., B. Gooch, et al. (1998). A non-photorealistic lighting model for automatic technical illustration, Addison-Wesley.
- Goude, G. and I. Hjortzberg (1967). *An experimental prövning*. Stockholm, University of Stockholm.
- Gouraud, H. (1971). "Continuous Shading of Curved Surfaces." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*: 623-629.
- Hochberg, J. (1968). In *The Mind's Eye* in HABER R.N. (organization de), *Contemporary Theory and Research in Visual Perception*. Nova Iorque, Rinehart & Winston.
- Hodges, L. F. (March 1992). Tutorial: Time-Multiplexed Stereoscopic. *Computer Graphics and Application*.
- Hsu, S. C. and I. H.H.Lee *Drawing and Animation Using Skeletal Strokes*. Computer Science Department, School of Music, Cambridge University Computer Lab.
- Igarashi, T., S. Matsouka, et al. (1999). Teddy: A sketching interface for 3D freeform Design. *SIGGRAPH 99 Computer Graphics Proceedings*.
- Interrante, V. L. (1997). Illustrating surface shape in volume data via principal direction-driven 3D line integral convolution. *Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series*, Addison-Wesley
- Ittelson, W. H. (1952). *The Ames demonstrations in perception*. Princeton.
- Kaupelis, R. (1980). *Experimental Drawing*. New York, Watson Guptill Publications.
- Koffka, K. (1922). Perception: and introduction to the Gestalt-theorie, *Psychological Bulletin*.
- Koffka, K. (1970). *Principles of Gestalt Psychology*. Nova Iorque, Routledge & Kagan.
- Lansdown, J. S., S. (1995). Expressive rendering: a review of nonphotorealistic techniques, *IEEE Computer Graphics and Applications*.
- Markosian, L., M. Kowalski, et al. (1997). Real-time nonphotorealistic rendering, Los Angeles, CA, USA, ACM.
- Massironi, M. (1982). *Vedere com il Disegno*, Franco Muzzio & c. editore.
- Masuch, M., L. Schumann, et al. (1998). Animating frame-to-frame Consistent Line Drawing for Illustrative Purposes, P.Lorenz and B. Preim

- Michotte, A., G. Thinès, et al. (1964). Le compléments amodaux des structures perceptives. Lovaine, Publications Universitaires de Lovaine.
- Neisser, U. (1967). Cognitive psychology. New York, Appleton - Century- Crofts.
- Norton, D. and L.Stark (1971). Eye movements and visual perception, Scientific American.
- Panovfsky, E. (1924). La Perspective comme "forme symbolique". Paris.
- Raskar, R. and M. Cohen (1999). Image Precision Silhouette Edges. Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, ACM Press.
- Rewald, J., Ed. (1995). Paul Cezanne, Letters. (editor) John Rewald, Da Capo Press Ed.
- Saito, T. and T. Takahashi (1990). Comprehensible Rendering of 3D Shapes, ACM SIGGRAPH.
- Salapatek, P. and L. B. Cohen (1975). Pattern perception in early infancy. New York.
- Santella, A. and D. DeCarlo (2004). Visual interest and NPR: An evaluation and manifesto, Annecy, France, Association for Computing Machinery, New York, NY 10036-5701, United States.
- Schlechtweg, S. (1997). Lines and how to draw them, Norsk samarbeid inner grafisk databehandling 4-6.
- Schofield, S. (1994). Non-Photorealistic Rendering: A critical Examination and Proposed System. School of Art and Design, Middlesex University.
- Shahn, B. (1957). The Shape of Content. Mass.
- Strassmann, S. (1986). Hairy Brushes. SIGGRAPH, Dallas.
- Strothotte, T. and S. Schlechtweg (2002). Non photorealistic Computer Graphics. San Francisco, Morgan Kaufmann.
- Yarbus, A. L. (1967). Eye movements and vision. New York, Plenum Press.
- Zelevnik, R., K. P. Herndon, et al. (1996). Sketch: An interface for Sketching 3D Scenes. SIGGRAPH 96 - Computer Graphics Proceedings.

Anexos:

Anexo A

Inquérito para Avaliação das qualidades técnicas e expressivas da Máquina de Desenho.

O presente questionário pretende recolher a opinião de todos os indivíduos com experiência em Artes Visuais, no sentido de avaliar as qualidades expressivas, técnicas e metodológicas dos desenhos gerados pela máquina de desenho.

Este inquérito está a ser efectuado no âmbito da tese de mestrado intitulada “Máquina de Desenho”, que me encontro a desenvolver na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A máquina de desenho pretende dar um importante contributo para o desenvolvimento de sistemas capazes de simular os mais diversos aspectos formais dos desenhos humanos, especificamente ao nível do desenho de observação, estando comprometida com diversas metodologias de desenho, frequentemente adoptadas pelos desenhadores.

Neste sentido, o seu contributo é importante, agradecendo desde já a sua participação.

Este inquérito está dividido em quatro secções:

1. Dados pessoais
2. Avaliação das qualidades plásticas dos desenhos.
3. Avaliação das metodologias.
4. Avaliação sumaria.

Acompanham este inquérito 5 ficheiros em formato de imagem, para visionamento no monitor, correspondentes a cada uma das secções do inquérito.

1. Dados Pessoais

Sexo: Feminino Masculino Data de nascimento: ____/____/____

Habilitações académicas:

Grau académico: _____ Área de formação _____

2. Qualidades plásticas dos desenhos

Observe com atenção o **desenho A** (desenho_A.jpg)

Em relação às qualidades plásticas do desenho observado, traduza a sua opinião respondendo às seguintes questões.

2.1 Formas

a. Descreva de formalmente os objectos representados.

b. As formas são...

<input type="checkbox"/>	Planas
<input type="checkbox"/>	Volumétricas
<input type="checkbox"/>	Ambas

c. As formas representam o maior peso na composição?

<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Sim

d. Como são construídas as formas? Através de...

<input type="checkbox"/>	Linhas
<input type="checkbox"/>	Valores
<input type="checkbox"/>	Pela combinação de ambos

e. Que género de formas identifica no desenho?

<input type="checkbox"/>	<i>Formas geométricas</i> , de contornos precisos e bem definidas.
<input type="checkbox"/>	<i>Formas orgânicas</i> , de contornos irregulares, descritas através de múltiplas linhas e marcas.
<input type="checkbox"/>	Não são perceptíveis quaisquer formas.

f. Consegue distinguir as formas do fundo?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Difícilmente

2.2 Valores Tonais

a. Que propriedades físicas dos objectos consegue identificar no desenho através de valores tonais?

	Sim	Não
Luz reflectida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Peso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estrutura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Espaço	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

b. Como classificaria, quanto à sua função os valores representados no desenho?

<input type="checkbox"/>	Subjectivos – Os valores desempenham unicamente funções de cariz expressiva, de exaltação formal em detrimento da objectividade formal da obra.
<input type="checkbox"/>	Objectivos – Os valores desempenham funções de representação dos fenómenos visuais: luz, sombra, penumbra, suavidade e rugosidades de superfícies, etc.
<input type="checkbox"/>	Ambas.
<input type="checkbox"/>	Nenhuma destas funções.

2.3 Linhas

a. Que tipo de linhas de contorno estão representadas no desenho?

	Sim	Não
Linhas precisas ou controladas – geralmente unidas e de traçados precisos e espessura uniforme.		
Linhas pronunciadas – Os contornos exageram e distorcem a representação dos modelos.		
Linhas topológicas – Linhas verticais e horizontais percorrem a topologia dos objectos definindo a variação de planos.		
Linhas de espessura variável – A espessura das linhas é variável devido a variações de pressão provocadas pelo gesto.		
Outras		

b. As linhas ajudam a perceber a natureza formal dos objectos,

	Sim	Não
...explicando a estrutura visível e invisível dos objectos.		
...estabelecendo relações entre os objectos e o espaço.		
...criando pontos de intersecção e ângulos.		
...estabelecendo relações de proporção entre os diversos objectos, tangências e Perpendiculares.		
As linhas não definem qualquer tipo de objectos.		

c. Como caracteriza, ao nível das qualidades plásticas, as linhas representadas no desenho?

	Sim	Não
Lineares – segmentos de recta perfeitos e sem vestígios de oscilação.		
Linhas imprevistas – graficamente irrepitíveis, oscilantes, de espessura, densidade, posição e comprimento inconstante.		
Linhas irregulares – as intensidades tonais e distribuição das linhas no espaço de representação são irregulares.		
Linhas de espessura variável – a espessura variável devido a variações de pressão provocadas pelo gesto do desenhador.		
Outras		

2.4 Texturas

a. As texturas simulam superfícies de modo convincente?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Difícilmente

b. Que tipo de texturas estão representadas no desenho?

	Sim	Não
<i>Texturas tramas</i> – geradas por um conjunto de linhas e (ou) pontos, mais ou menos afastados entre si, por vezes cruzados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Texturas Manchas</i> – geradas por manchas mais ou menos uniformes e de tonalidades variadas que preenchem uma determinada superfície.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

c. Como descreveria as texturas representadas no desenho?

	Sim	Não
As texturas procuram imitar os fenómenos físicos das superfícies, recorrendo para tal a múltiplas variações tonais de claro-escuro, no sentido de representar a luz, sombra e penumbra.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
As texturas resultam das propriedades físicas dos suportes e materiais riscadores: granulidade e dissolvência dos médios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
As texturas são unicamente resultantes do processo de desenho: zonas de contraste visual; efeitos rítmicos; preenchimento de superfícies; destaque da forma e fundo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3 Metodologias

Tendo em consideração os aspectos relacionados com a metodologia de desenho de observação, dê a sua opinião avaliando numa escala de 1 (não se verifica) a 5 (verifica-se claramente), as diferentes fases por que passa um desenho.

3.1 Desenho analítico

3.1.1 Estruturação gráfica

Observe com atenção o [desenho B](#) (desenho_B.jpg)
1 - não se verifica / 5 - verifica-se claramente

		1	2	3	4	5
a)	O desenho apresenta marcas e outros sinais gráficos que denunciam a estrutura elementar dos objectos.					
b)	As linhas estruturais definem correctamente a orientação espacial dos objectos no cenário.					
c)	As linhas estruturais apresentam grande expressividade gestual e traçados irregulares.					
d)	As linhas estruturais são graficamente subtis e pouco marcadas.					
e)	São perceptíveis no desenho certos grafismos estruturais que denunciam as estimativas visuais, revisões, alterações e retoques feitos pelo desenhador ao longo do desenho.					

3.1.2 Acentuação gráfica

Observe com atenção o [desenho C](#) (desenho_C.jpg)
1 - não se verifica / 5 - verifica-se claramente

		1	2	3	4	5
a)	O desenho apresenta linhas bem definidas, de valor tonal intenso e preciso.					
b)	É fácil e clara a identificação das formas no desenho.					
c)	As linhas criam contornos fechados, permitindo uma fácil separação entre a forma e o fundo.					
d)	É notória uma certa profundidade espacial					
e)	As superfícies em oclusão estão bem representadas.					

3.1.3 Enfatismo e exclusão gráfica.

Observe com atenção o [desenho D](#) (desenho_D.jpg)

1 - não se verifica / 5 - verifica-se claramente

		1	2	3	4	5
a)	O desenho apresenta um foco de atenção visual, caracterizado por uma grande quantidade de grafismos.					
b)	Em certas zonas do desenho é possível identificar um elevado grau de fidelidade ao nível da representação formal.					
c)	O desenho apresenta zonas onde apenas são perceptíveis vagos grafismos estruturais.					
d)	O desenho apresenta zonas ligeiramente esboçadas, no entanto, estas não comprometem a qualidade expressiva do mesmo.					

4 Avaliação Sumária

Observe com atenção o [desenho E](#) (desenho_E.jpg)

Faça uma avaliação sumária das qualidades técnico-expressivas do desenho E, através de uma escala qualitativa (1 – má; 2- medíocre; 3 – razoável; 4- boa; 5 – ótima)

		1	2	3	4	5
a)	Qualidade gráfica					
b)	Valor expressivo					
c)	Grau de fidelidade formal (representação da realidade visual)					

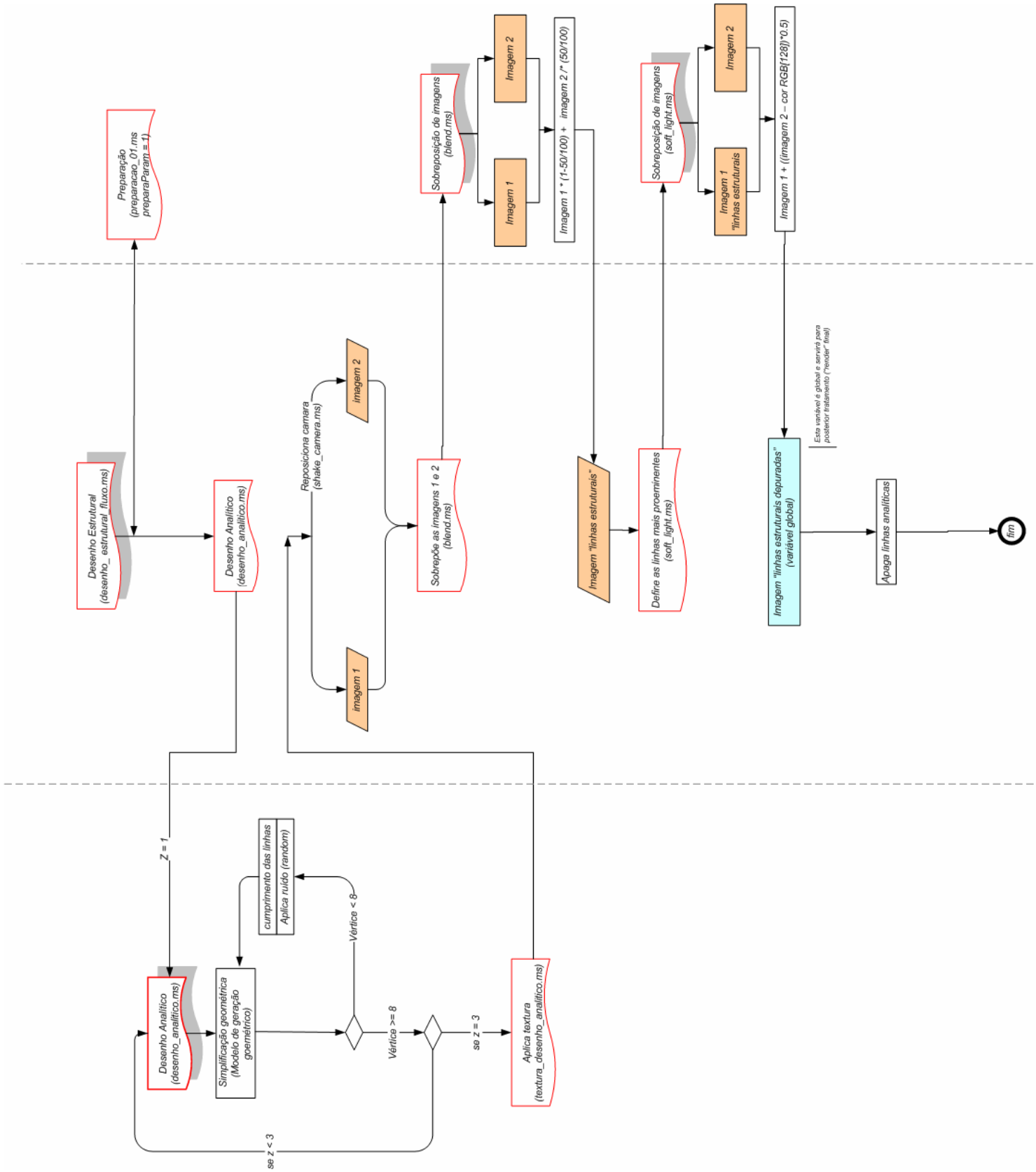
d) Que aspectos gráficos gostaria de ver melhorados no desenho?

e) Pode fazer de seguida todos os comentários que julgue pertinentes, para melhoria e implementação futura na máquina de desenho.

Muito obrigado pela sua participação.

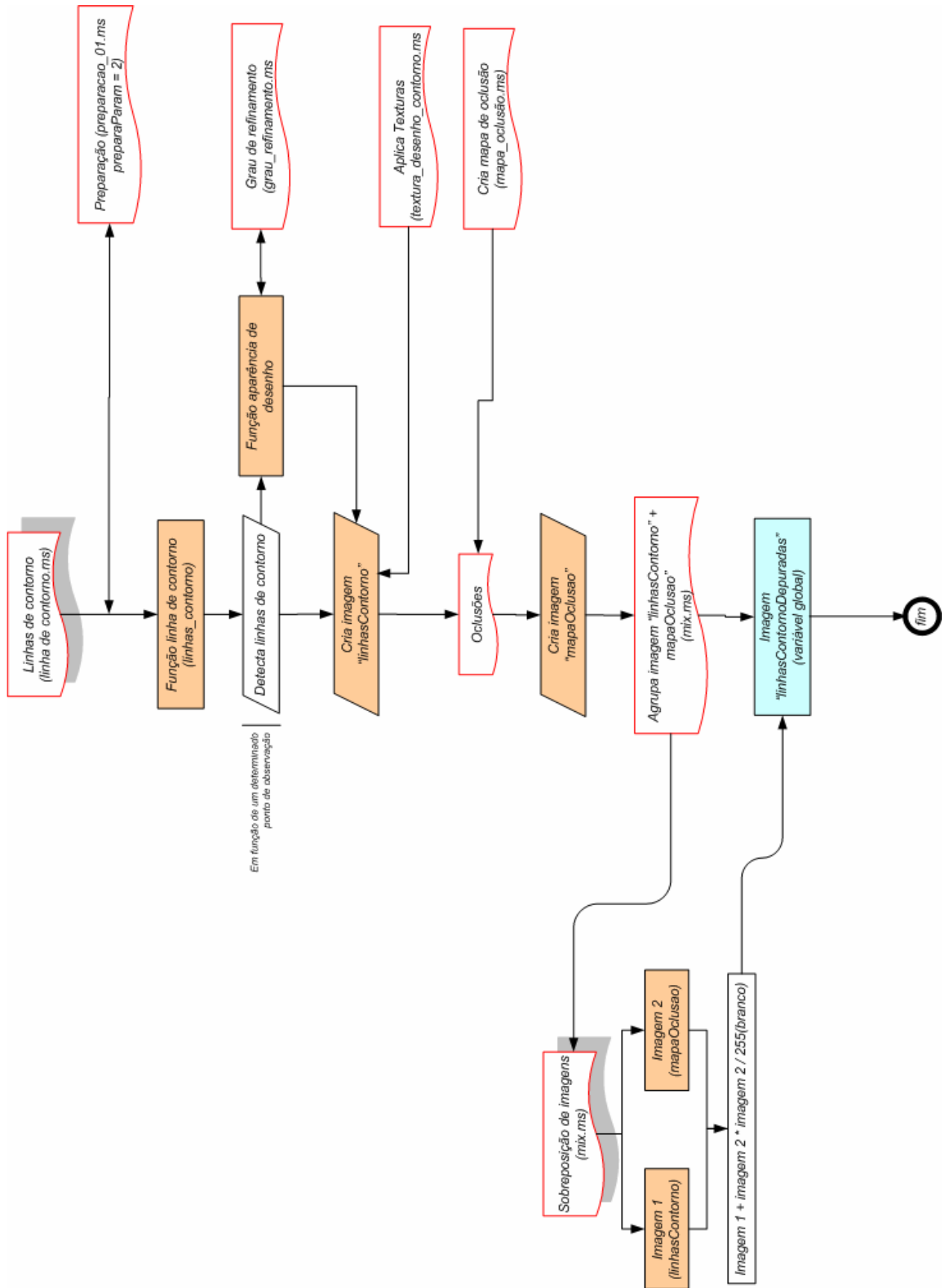
Anexo B

Fluxograma Análise e estruturação gráfica



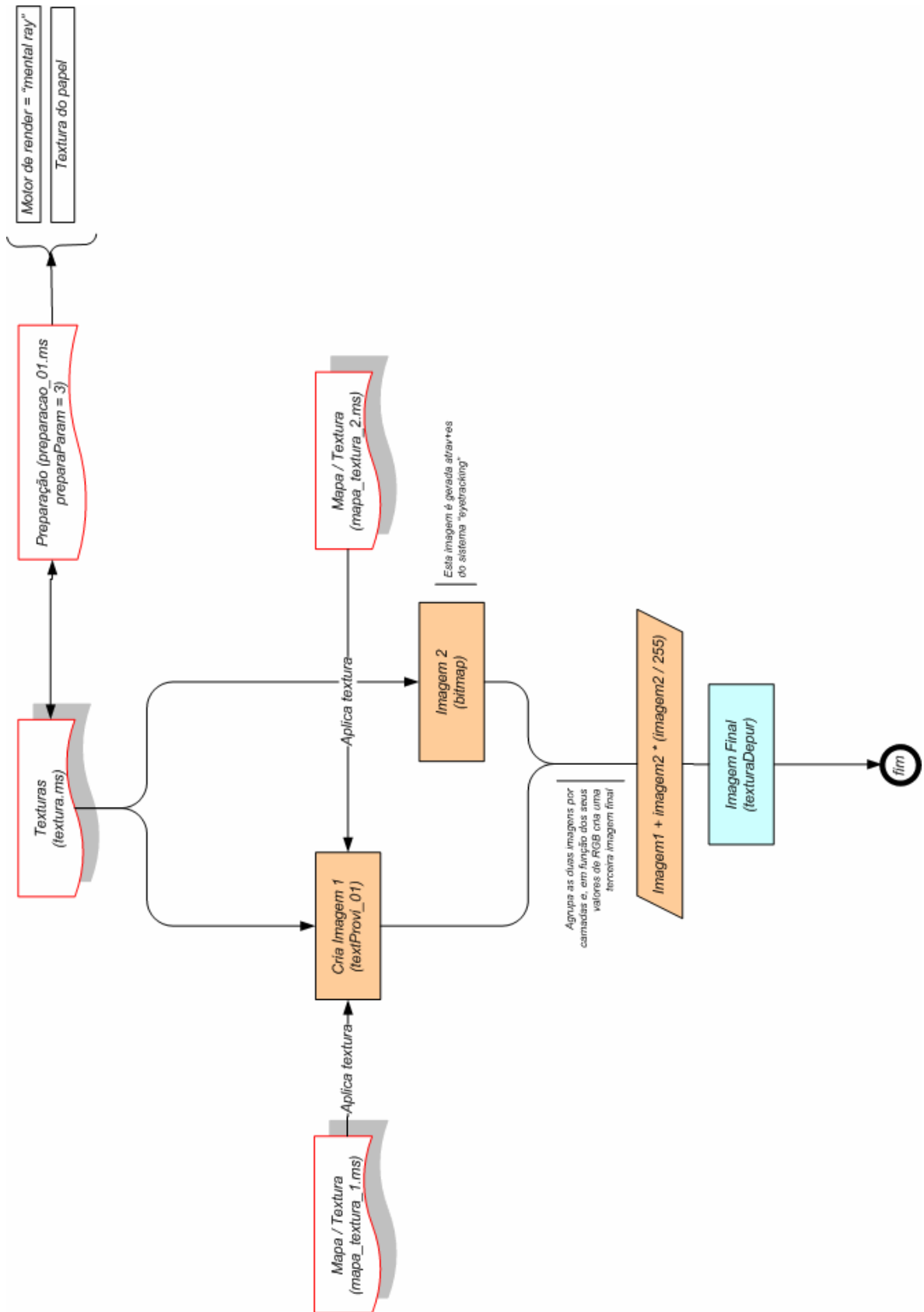
Anexo C

Fluxograma Acentuação Formal – linhas contorno



Anexo D

Fluxograma Enfatismo Exclusão Gráfica – Texturas



Anexo E

Fluxograma Composição

