

Simulador para Corte de Peças de Pedra^{*}

Filipe Marques, Samuel Silva, Beatriz Sousa Santos, Joaquim Madeira, Manuel Raposo¹

¹PROSISTAV, Aveiro

Resumo— A indústria de transformação de blocos de pedra em peças decorativas tem evoluído rapidamente, sendo estas realizadas com recurso a máquinas que dispõem de autómatos programáveis, comandos numéricos e aplicações com interfaces de utilizador, que vão desde consolas de operação com duas linhas de texto a computadores industriais com interfaces gráficas. Embora a indústria portuguesa tenha evoluído nas soluções de controlo, melhores interfaces com o utilizador permitiriam uma preparação de trabalho mais rápida e menos erros de programação dos autómatos. Neste artigo descrevem-se os aspectos mais relevantes de uma destas aplicações com interface de utilizador, desenvolvida em Visual Basic, recorrendo à biblioteca gráfica OpenGL.

I. INTRODUÇÃO

A indústria de transformação de blocos de pedra (mármore, granitos e outras) em peças decorativas como lareiras, balaústres ou colunas, tem evoluído de forma rápida, sendo as tarefas manuais substituídas por máquinas mais ou menos pesadas consoante as dimensões das peças a trabalhar. Apesar do meio agressivo em que têm que trabalhar, essas máquinas já não dispõem de autómatos programáveis, comandos numéricos e interfaces com o operador que vão desde consolas de operação com duas linhas de texto a computadores industriais com interfaces e aplicações gráficas sofisticadas.

A indústria portuguesa produz algumas centenas de máquinas por ano, estando também a evoluir nas soluções de controlo, mas peca ainda pela utilização de interfaces com o utilizador pouco atraentes e incompletas em termos da informação fornecida ao utilizador. A melhoria destas interfaces poderia permitir uma preparação de trabalho mais rápida, menos erros de programação dos autómatos e uma maior usabilidade.

O funcionamento deste tipo de máquinas é, em termos mecânicos, semelhante ao de um *plotter* de grandes dimensões com um disco diamantado (a “caneta”), um eixo vertical que controla a profundidade de corte e dois eixos horizontais que controlam a posição do disco sobre o bloco de pedra.

Algumas das aplicações mais evoluídas existentes nesta área são aplicações de controlo para máquinas do tipo torno (para colunas, balaústres ou esferas) e máquinas de ponte (para peças que não sejam de revolução) com 2 a 8 eixos de posicionamento, e têm como base do sistema de controlo um autómato industrial programável (Programmable Logic Controller - PLC) e um computador industrial de painel com écran tátil (PC com *touch-screen*).

O PLC é programado numa linguagem própria e o PC executa habitualmente o sistema operativo *Windows*, uma aplicação de comunicação com o PLC e uma aplicação em *Visual Basic*, através da qual o operador comunica com a máquina, introduzindo as informações necessárias para a produção e efectuando a verificação do estado do processo de corte, depois deste ter sido iniciado.

Quando se pretende que a máquina execute um trabalho cujo resultado seja uma peça com uma determinada forma, essa forma é definida por uma sequência de segmentos de recta e de arcos, compondo o perfil da peça final. Estes perfis ficam armazenados no PC de cada máquina, podendo o operador reutilizá-los mais tarde.

O trabalho executado consistiu no desenvolvimento, a vários níveis, de uma aplicação com as características descritas acima. Para tal, recorreu-se à linguagem de programação *Visual Basic* e à biblioteca gráfica *OpenGL* para modelação e visualização bidimensionais e tridimensionais. Esta biblioteca apresenta duas grandes vantagens: por um lado é independente do *hardware*, pelo que pode ser usada em diferentes plataformas e, por outro, é *freeware* podendo ser usada sem o pagamento de licenças [1]. A sua utilização a partir do *Visual Basic* é feita recorrendo a uma *type library* [2].

II. DESCRIÇÃO GERAL DA APLICAÇÃO

Nesta secção é descrita a funcionalidade da aplicação, realçando-se os aspectos considerados mais relevantes. Foi desenvolvida a seguinte funcionalidade na aplicação:

- Desenho do perfil de uma peça
- Representação tridimensional da peça
- Simulação de corte

^{*} Trabalho realizado no âmbito da disciplina de projecto da Licenciatura em Engenharia Electrónica e de Telecomunicações em colaboração com a empresa PROSISTAV.

- Impressão parametrizável
- Biblioteca de moldes
- Ajuda ao utilizador

A funcionalidade será descrita em pormenor nas subsecções seguintes.

A. Modelo Conceptual

A aplicação usa, em termos de estilos de diálogo, menus, formulários e manipulação directa [3].

A componente de manipulação directa é bastante importante, uma vez que esta aplicação é usada em plataformas que têm um monitor com *touch-screen* como dispositivo de entrada de dados. Isso implica, por exemplo, o uso de ícones e caixas de texto de tamanho razoável e convenientemente espaçados entre si.

A componente de formulários está presente, por exemplo, nas áreas de introdução e alteração de segmentos.

De forma a apresentar as diversas funcionalidades de uma forma organizada, usa-se um sistema de menus hierárquico, presente na zona inferior da interface de utilizador.

B. Desenho do perfil

Quando o operador pretende realizar uma dada peça, começa por construir o seu perfil usando a aplicação desenvolvida. A representação do perfil é feita na área localizada acima dos botões de menu (figura 1). Seguidamente, o perfil é enviado para o autómato que se encarrega de o aplicar num bloco de pedra (sub-secção D.1), produzindo-se, assim, a peça desejada.

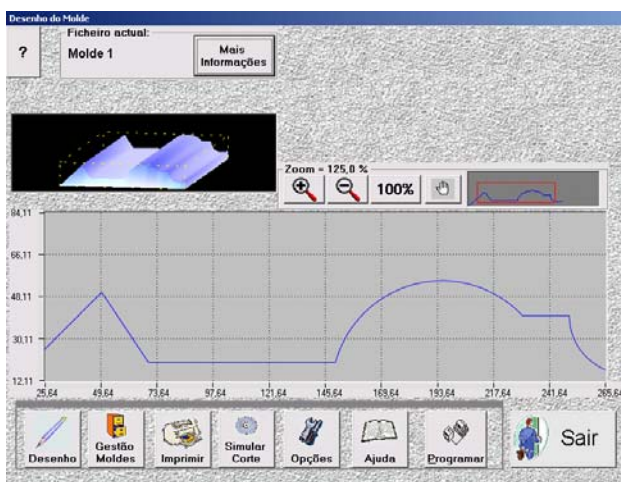


Figura 1 - Aspecto geral da interface de utilizador, para o desenho do perfil

O perfil de uma peça é composto por um conjunto de segmentos. Esses segmentos podem ser de dois tipos: segmentos de recta ou arcos de circunferência. A opção

por apenas estes dois tipos de elementos gráficos foi feita para simplificar o processo de desenho e a compreensão por parte dos utilizadores.

B.1. Introdução e alteração de segmentos

Cada segmento é definido estabelecendo inicialmente as coordenadas dos seus pontos inicial e final, e seleccionando o tipo de segmento pretendido. No caso da definição de arcos, é possível especificar, também, a cota máxima (ou mínima) que o arco atinge.

É também possível realizar alterações em segmentos previamente introduzidos, como, por exemplo, a alteração do raio de um arco, o estabelecimento de concordância entre um arco e o segmento que o precede, a alteração dos pontos extremos de um arco mantendo a sua cota máxima (ou mínima) e a alteração das coordenadas de início ou fim de um segmento (recta ou arco). O segmento no qual se estão a realizar alterações é representado a cor diferente (opcionalmente também com outra espessura de linha) dos restantes.

B.2. Ferramentas de zoom e pan

Foi criada também uma ferramenta de ampliação/redução (*zoom*) em torno de um ponto do perfil. A selecção do ponto em torno do qual se efectuará o *zoom* é feita com o auxílio de "gravidade" [4]: se o ponto seleccionado estiver na vizinhança de um vértice do perfil, a ampliação é realizada em torno desse vértice e não do ponto seleccionado (figura 2).

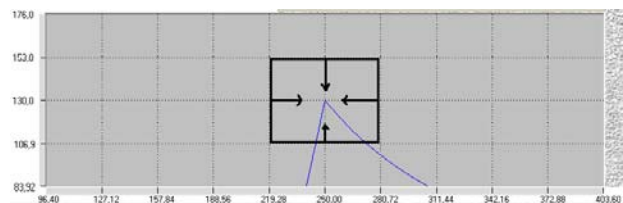


Figura 2 – Gravidade no zoom

Para auxiliar o operador, é feita também a representação, na barra de *zoom*, da zona de perfil que está actualmente a ser ampliada, no contexto geral do perfil (figura 1, acima da representação do perfil, do lado direito)

A janela de ampliação pode ser também deslocada sobre o perfil (*pan*), tendo para tal que se seleccionar um qualquer ponto da área de desenho e deslocar o perfil na direcção desejada.

B.3. Ferramentas adicionais de desenho

Foram também desenvolvidas algumas ferramentas adicionais que permitem facilitar o trabalho ao utilizador.

A ferramenta de espelho permite ao utilizador, quando está a construir um perfil simétrico, desenhar apenas metade e pedir à aplicação que conclua o perfil.

Tomando como exemplo o perfil da figura 3, a utilização da ferramenta de espelho permite chegar ao perfil da figura 4.

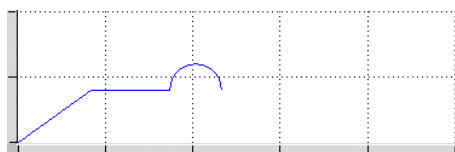


Figura 3 – Espelho do perfil – situação inicial

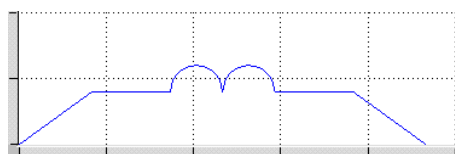


Figura 4 – Espelho do perfil – situação final

A ferramenta de inversão do perfil na horizontal permite rodar o perfil sobre o seu centro de modo a que o que estava à direita passa para a esquerda e vice-versa.

Tomando como exemplo perfil da figura 5, a utilização da ferramenta de inversão na horizontal permite obter o perfil da figura 6.

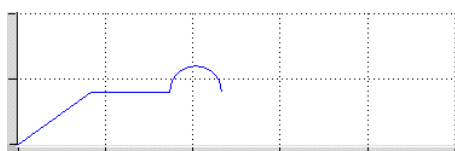


Figura 5 – Inversão do perfil – situação inicial

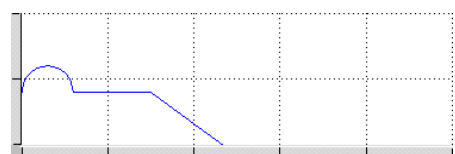


Figura 6 – Inversão do perfil – situação final

Para permitir uma recuperação rápida de erros, característica muito desejável numa interface de utilizador [3], foi também desenvolvida a ferramenta de anulação da última alteração efectuada no perfil.

C. Representação tridimensional da peça

Para proporcionar ao operador uma previsão do resultado final do corte, realizado pelo autómato, a partir do perfil que está actualmente a desenhar, foi desenvolvida a possibilidade de visualizar tridimensionalmente a peça correspondente ao perfil actual, usando dois tipos de visualização, com distintos níveis de detalhe.

C.1. Pré-visualização tridimensional da peça

Esta representação tridimensional de baixa resolução e pequeno tamanho do modelo da peça está localizada logo acima da representação do perfil (figura 1). Tem como finalidade fornecer ao operador uma ideia das linhas

principais da peça à medida que vai introduzindo os segmentos.

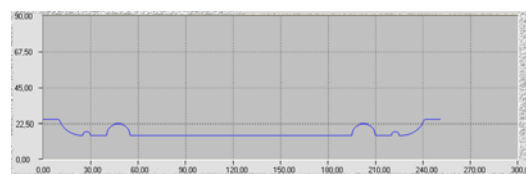


Figura 7 - Exemplo de um perfil traçado por um operador

Consideremos o perfil mostrado na figura 7; a partir deste perfil podem obter-se três peças diferentes (mostradas na figura 8) de acordo com a operação seleccionada: extrusão (a), revolução (b) ou coluna com quatro faces (c).

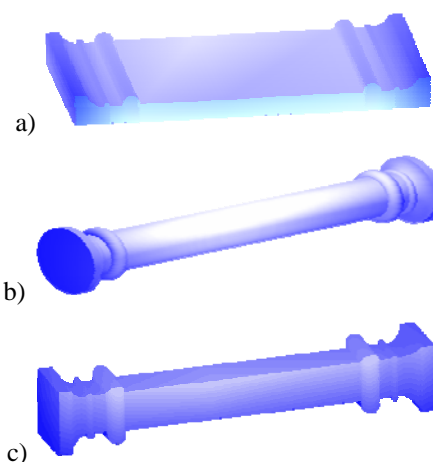


Figura 8 - Peças obtidas a partir do perfil da figura 7: a) peça de extrusão, b) peça de revolução, c) coluna com quatro faces

C.2. Visualização, em pormenor, do modelo tridimensional da peça

O operador tem à sua disposição (numa *frame* própria) uma representação tridimensional da peça com elevada resolução e tamanho (figura 9).

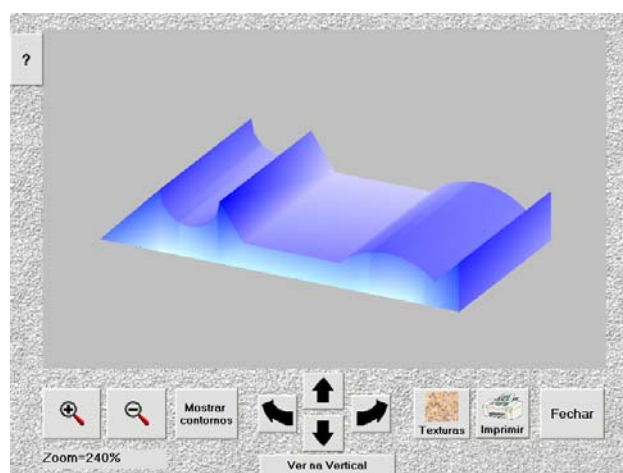


Figura 9 - Visualização tridimensional da peça

De forma a possibilitar ao utilizador uma visualização pormenorizada da peça, foram colocadas à sua disposição ferramentas de ampliação e redução. Para além disso, o operador pode seleccionar a representação da peça com ou sem os contornos dos diversos segmentos, e na vertical ou na horizontal. Pode movimentar o modelo recorrendo para tal a cursores ou seleccionando um qualquer ponto na área de representação e deslocando o modelo na direcção desejada (figura 9).

Finalmente, pode aplicar texturas ao modelo para lhe conferir um aspecto mais realista (figura 10), a partir de qualquer ficheiro de imagem presente na biblioteca de texturas (figura 11).

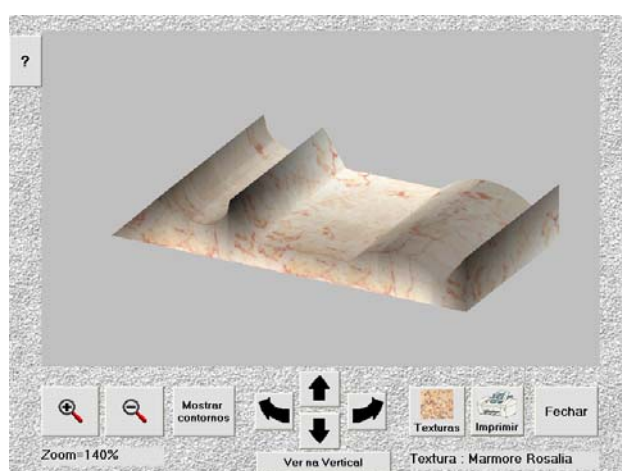


Figura 10 - Representação tridimensional da peça, com textura aplicada

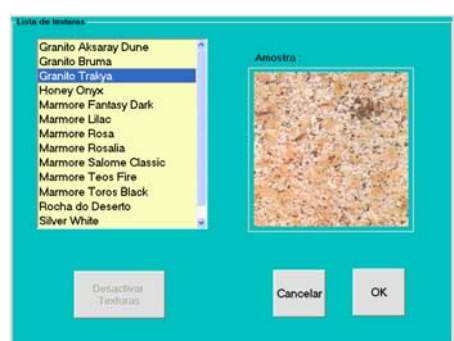


Figura 11 - Área de acesso à biblioteca de texturas

D. Simulação de corte

A simulação de corte fornece ao utilizador a previsão do resultado do corte do perfil pelo automático. Os parâmetros da simulação são a espessura do disco de corte e o avanço entre cortes. Através da análise das simulações de corte o operador pode inferir quais os parâmetros que permitirão produzir a peça com o melhor compromisso entre qualidade e tempo de execução.

D.1. Processo de corte

O automático inicia um processo de corte após receber do PC a informação de um perfil e da distância entre cortes a usar. O processo de corte consiste em realizar cortes (espaçados entre si de acordo com a distância entre cortes) posicionando o canto esquerdo do disco à cota do perfil em cada ponto de corte.

D.2. Compensação da ferramenta

Se o perfil fosse enviado para o automático directamente, sem qualquer tipo de processamento, o resultado do corte seria incorrecto, devido ao processo de corte acima descrito. Em zonas em que a cota fosse crescente no perfil, o automático iria cortar pedra em áreas onde não seria suposto fazê-lo. De facto, estando o canto esquerdo do disco posicionado à cota do perfil num dado ponto de corte e sendo o perfil crescente nessa zona, o canto direito do disco iria estar abaixo da linha do perfil nesse local. A figura 12 ilustra esse efeito. Nesta figura é representado um bloco de pedra visto de topo, apresentando os sulcos resultantes da passagem do disco de corte.

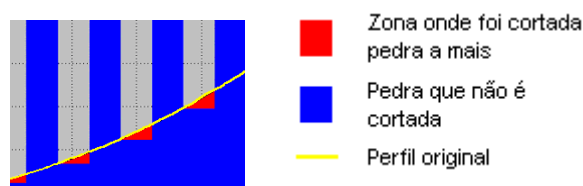


Figura 12 - Efeito do corte, na pedra, sem compensação de ferramenta

A compensação da ferramenta consiste em calcular um perfil compensado, a partir do perfil original e de uma dada espessura de disco de corte, de modo a que o automático ao executar o perfil compensado nunca vá cortar pedra abaixo da linha do perfil original. O procedimento para o fazer é percorrer o perfil com incrementos de décima de milímetro e, para cada um desses pontos, calcular uma cota compensada. A cota compensada, em cada ponto, é obtida considerando não só esse ponto mas sim todos os outros à sua direita numa vizinhança de amplitude igual à espessura de disco. A cota compensada é a maior cota nesse intervalo. Na figura 13 está ilustrado o processo de cálculo da cota compensada de um ponto.

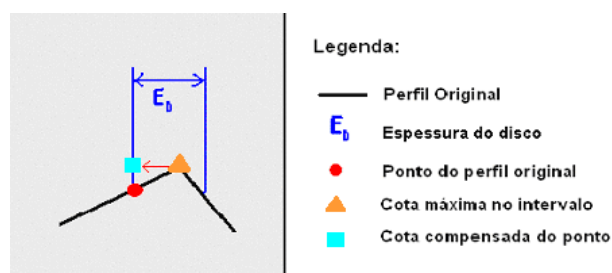


Figura 13 - Forma de cálculo de um ponto de perfil compensado

Enviando este perfil compensado para o autômato, garante-se que não será cortada, em nenhuma situação, pedra abaixo da linha do perfil original (figura 14).

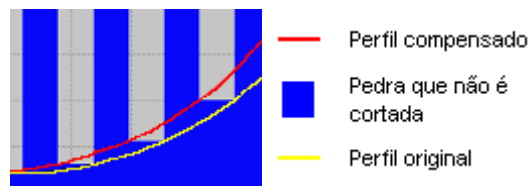


Figura 14 – Efeito de corte, na pedra, com compensação de ferramenta

Tradicionalmente é usado outro processo de correcção, executado empiricamente pelos operadores, para lidar com este problema: a introdução, em vez dos segmentos exactos, de segmentos ligeiramente alterados de modo a evitar o corte de pedra abaixo da cota pretendida. Contudo, esse processo é difícil de aplicar e produz resultados imprecisos que variam de operador para operador. Esta correcção automática permite aliviar os operadores dessa tarefa, garantindo resultados independentes do operador.

D.3. Simulação

Uma vez tendo o perfil da peça preparado, o operador terá que o enviar para o autômato para que seja aplicado num bloco de pedra (como já foi referido atrás, o que é de facto enviado para o autômato, de forma transparente para o utilizador, é um perfil compensado).

O autômato é preparado com um disco de uma determinada espessura e programado para seguir a linha de perfil com uma dada distância (ou avanço) entre cortes. Como se pode facilmente perceber, a diversidade de combinações entre espessuras de disco e distâncias entre cortes é enorme. Cada uma destas combinações permite que se construam peças com diferentes tempos e qualidades de execução.

O tempo total necessário para a construção da peça é dado pela soma do tempo de execução do perfil no autômato ao tempo necessário para os acabamentos da peça. A qualidade de execução do perfil no autômato terá impacto directo no tempo necessário para os acabamentos.

A funcionalidade de simulação de corte foi desenvolvida para auxiliar o operador na decisão dos parâmetros de corte mais adequados.

Para realizar a simulação são solicitados ao operador a espessura do disco e o avanço entre cortes. Posteriormente é apresentada uma simulação do corte que o autômato irá realizar. Através da análise da simulação, o operador poderá inferir acerca da espessura de disco e do avanço entre cortes mais adequados. Na figura 15 são apresentadas duas simulações de corte que diferem entre si apenas na distância entre cortes utilizada (a espessura do disco usada nas duas simulações foi a mesma).

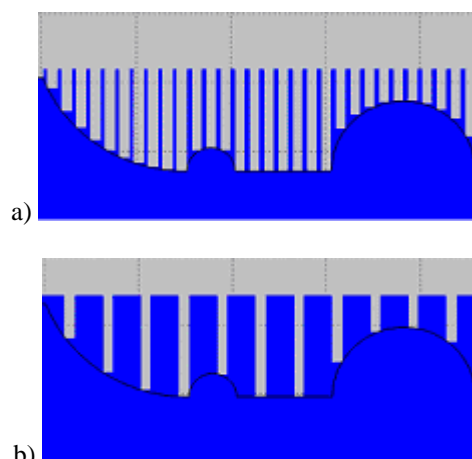


Figura 15 – Exemplo de duas simulações de corte

E. Impressão

O utilizador tem a possibilidade de imprimir informação vária relacionada com o perfil da peça:

- perfil (com ou sem ampliação),
- simulação de corte (com ou sem ampliação),
- representação tridimensional (com ou sem ampliação, com ou sem textura aplicada),
- tabela de pontos (lista dos segmentos que compõem o perfil).

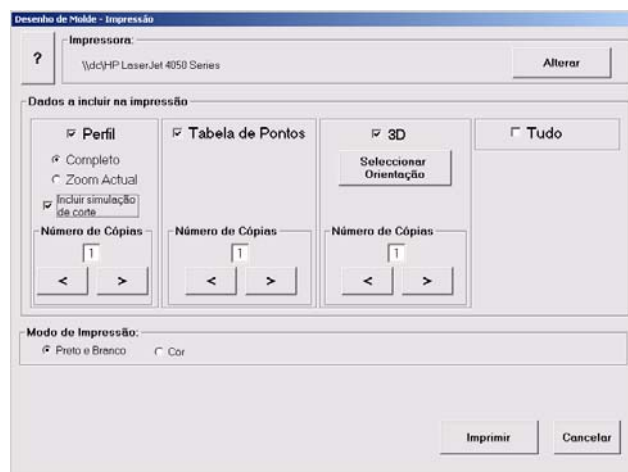


Figura 16 – Área de impressão parametrizável

A introdução desta funcionalidade foi motivada pelo facto de, em ambiente industrial, a informação circular em papel e, também, para funcionar como processo de arquivo, permitindo visualizar uma peça que se procure e reintroduzir um perfil, caso necessário.

Para a implementação desta funcionalidade foi usado o objecto *Printer* do Visual Basic. Este objecto funciona como uma área de desenho, do tamanho de uma página, que suporta o desenho de linhas, circunferências e

imagens e a escrita de texto formatado, tal como se poderia fazer num formulário. O objecto *Printer* suporta também um conjunto de métodos e propriedades necessários à composição de um documento para impressão. Alguns exemplos desses métodos e propriedades são: a definição da orientação da página, a inserção de nova página (que facilita a impressão da tabela de pontos), a definição do número de cópias para o documento, a definição de impressão a cores ou a preto e branco e o controlo do momento em que o documento é enviado para a impressora. Para além disso, este objecto adapta a resolução do que é desenhado à resolução proporcionada pela impressora.

F. Biblioteca de moldes

Dá-se o nome de molde ao conjunto formado pelo perfil da peça e pela respectiva informação adicional. O utilizador pode gravar moldes numa biblioteca de moldes e mais tarde proceder à sua reutilização.

Para seleccionar um dado molde da biblioteca é necessário percorrer a lista de moldes. À medida que se vai percorrendo esta lista, vai sendo mostrada a informação relativa ao molde que está actualmente seleccionado. Essa informação consiste na representação do perfil, na pré-visualização do modelo tridimensional da peça e de informação adicional sobre o molde, como, por exemplo, o cliente a que se destina e a data de realização.

Informações do ficheiro	
Nome Op.: JOSE	Data: 23-05-2003
Cliente: PINTO DA COSTA	
Descrição: SOLEIRA	

Figura 17 – Informação adicional relativa ao molde seleccionado na lista

G. Ajuda ao utilizador

Foi desenvolvida a funcionalidade de ajuda ao utilizador, procurando-se que esta fosse tanto quanto possível facilmente acessível, precisa e completa, consistente, flexível e que obstruísse tão pouco quanto possível o trabalho do utilizador [5].

Este desenvolvimento foi limitado pelo facto de o único dispositivo de entrada utilizado na plataforma ser o *touch-screen*, o que à partida exclui a utilização de tipos de ajuda muito usados em plataformas do tipo *desktop*.

Existem na interface duas formas de ajuda ao utilizador:

- Um manual *online* (também disponível em papel), onde o utilizador pode encontrar uma descrição da funcionalidade da aplicação e explicações acerca da sua utilização (figura 18).

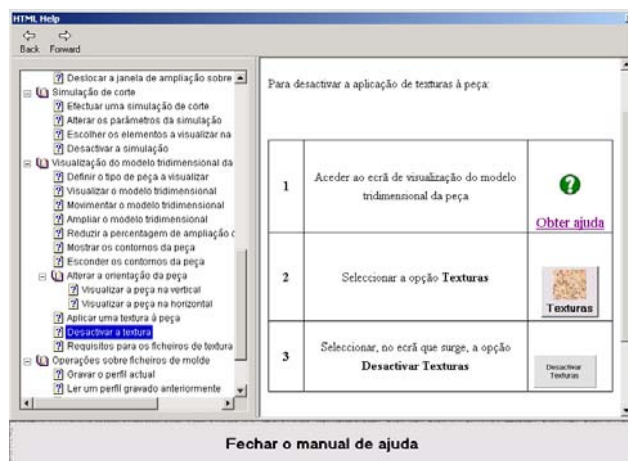


Figura 18 – Manual de utilização *online*

- Ajuda contextualizada, isto é, informações sucintas acerca dos elementos que compõem a interface (figura 19).

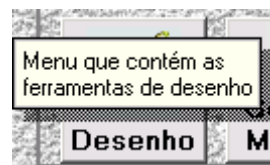


Figura 19 – Exemplo de ajuda contextualizada

A ajuda contextualizada foi desenvolvida de modo a possibilitar uma ajuda rápida e que, ao contrário do manual *online*, não obstruísse o trabalho do utilizador [5].

A ajuda foi implementada utilizando a aplicação Microsoft HTML Help Workshop [6] que permite a criação de ficheiros de ajuda a partir da sua composição em formato HTML. O resultado final é um único ficheiro com extensão .CHM que contém, comprimidos, todos os conteúdos da ajuda. Foram construídos dois ficheiros de ajuda, um contendo os tópicos da ajuda contextualizada e outro contendo o manual de utilização em formato *online*.

III. AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO

De forma a identificar aspectos passíveis de serem melhorados, quer ao nível de nova funcionalidade a ser incluída quer ao nível de problemas de usabilidade [7], procedeu-se à avaliação da aplicação.

A aplicação desenvolvida foi testada pelos técnicos que a instalam e explicam aos utilizadores finais (operadores). A aplicação deverá também ser avaliada, numa fase posterior, pelos utilizadores finais.

A. Avaliação pelos técnicos de instalação

De forma a facilitar a avaliação dos técnicos e a permitir recolher a informação de avaliação de uma forma organizada, elaborámos um Guião de Análise que integrava um conjunto de questões simples, com resposta

através de uma escala de avaliação de 5 níveis (que variavam de Mau a Muito Bom). Paralelamente, existia também espaço para a anotação de eventuais comentários.

Os resultados da avaliação foram bastante positivos, estando o nível médio de apreciação situado entre o Bom e o Muito Bom. De facto, os técnicos, que tiveram a oportunidade de experimentar o software ou assistir a uma demonstração, consideraram o mesmo excelente. Contudo, foram indicados alguns aspectos que poderiam ser melhorados, nomeadamente ao nível da designação atribuída a alguns botões de menu.

B. Avaliação pelos utilizadores finais (operadores das máquinas)

Está também prevista a realização de avaliação da aplicação por parte dos utilizadores finais.

A versão da aplicação que irá ser alvo de avaliação será a actual, após sofrer as alterações que os resultados da avaliação dos técnicos de instalação revelaram ser necessárias.

IV. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A aplicação desenvolvida é uma inovação na indústria portuguesa de transformação de blocos de pedra, esperando-se que possibilite a realização de peças decorativas de uma forma mais rápida e eficaz, o que se traduzirá, para as empresas, em ganhos de produtividade.

A aplicação, apesar das suas qualidades, pode ser ainda melhorada nos seguintes aspectos:

- Optimização da funcionalidade de texturas,

nomeadamente no que diz respeito à aplicação de texturas nas peças obtidas por revolução;

- Melhoria dos modelos de iluminação usados na representação dos modelos tridimensionais das peças;
- Implementação de *zoom* na representação do modelo da peça, realizado em torno de um ponto do espaço tridimensional definido pelo operador.

REFERÊNCIAS

- [1] Woo M., J. Neider, T. Davis, *The Official Guide to Learning OpenGL*, Release 1, Addison-Wesley Publishing Company, 1994
- [2] *VBOpenGL type library v. 1.2*, October 2002 <http://is6.pacific.net.hk/~edx/tlb.htm> (Junho 2003)
- [3] Mayhew, D., *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*, Prentice Hall, 1992
- [4] Foley, van Dam, Feiner, Hughes, *Computer Graphics – principles and practice*, 2nd. Ed., Addison Wesley, 1993
- [5] Dix, A., J. Finley, G. Abowd, B. Russell, *Human Computer Interaction*, 2nd. Ed., Prentice Hall, 1998
- [6] *HTML Help Workshop*, April 2001, <http://www.microsoft.com/office/ork/xp/appndx/appa06.htm>, (Julho 2003)
- [7] Nielsen, J., *Usability Engineering*, Academic Press, 1993