

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PÓS-PROCESSADOR PARA MÁQUINAS CNC DE LAPIDAÇÃO DE GEMAS

Rodrigo Dinis, polli.rodrigo@gmail.com¹

Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br¹

Milton Pereira, milton.pereira@ufsc.br²

¹Mestrado Profissional em Mecatrônica, IFSC, Campus Florianópolis, SC

²Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, SC

Resumo: O Brasil é mundialmente conhecido pela sua riqueza em pedras preciosas. Entretanto, no país, o trabalho de lapidação é realizado, de maneira geral, de forma artesanal. No processo de lapidação manual há uma grande quantidade de diagramas de projeto de lapidação de gemas, cada um representando um modelo diferente de lapidação. A lapidação tem sido feita com o uso destes diagramas em máquinas não automatizadas, cujo tempo de produção é baixo e são muito passíveis de erros humanos. Existem softwares CAD bem difundidos na área de lapidação de gemas que possibilitam a automação da criação de projetos, dando bastante flexibilidade de criação, e trazem aos lapidários a geração de um modelo a ser seguido durante o processo de produção das gemas. Para melhorar a produtividade da lapidação a tendência é partir de modelos CAD existentes e integrar rapidamente com máquinas automáticas de lapidação. Tendo como fundamento cadeias de manufatura baseados em CNC, foi desenvolvido um software pós-processador, capaz de integrar o projeto feito em CAD e as máquinas automáticas CNC. Este artigo apresenta a concepção, o projeto e os resultados obtidos na construção do software, o qual permite trabalhar com diferentes formatos de lapidação de gemas, comandos e máquinas CNC. O software gera programas CNC de lapidação de forma flexível, partindo de extensões de software para atender diferentes sistemas CAD e comandos CNC. Aliando-se a máquinas de lapidação automáticas, ele possibilita um aumento da produtividade, associado à melhoria e estabilidade da qualidade da lapidação.

Palavras-chave: Lapidação de gemas, Pós-processador CNC, Automação da lapidação.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente conhecido pela sua riqueza em pedras preciosas. Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM - Serviço Geológico do Brasil), das nove províncias gemológicas existentes no mundo, e das nove regiões geográficas excepcionalmente ricas em gemas, o país é líder não apenas na quantidade produzida, mas também na diversidade. Somente o estado de Minas Gerais contribui com cerca de 25% da produção mundial (Favacho, 2001).

O beneficiamento das gemas a partir do seu estado bruto é realizado pelo processo de lapidação, com o objetivo de aperfeiçoar suas qualidades ópticas, aumentar seu brilho, definir suas formas, realçar suas cores e belezas naturais (Zanatta et al, 2010). Uma lapidação considerada incorreta possui facetas desalinhadas, proporções fora do padrão, e polimento irregular. A qualidade da lapidação está diretamente relacionada com a qualidade das máquinas utilizadas.

Não existe no mercado nacional uma grande oferta de máquinas de lapidação que transformem uma gema bruta em uma gema lapidada com a qualidade exigida pelo mercado internacional. No Brasil, o trabalho de lapidação, de maneira geral, é feito de forma artesanal. Isto não oferece os padrões de qualidade competitivos encontrados nas chamadas pedras calibradas. O lapidário é o único responsável pela qualidade da gema, e muitas vezes não é possível manter a qualidade em todos os trabalhos devido à irregularidade inerente do ser humano. Tal qualidade se tornaria garantida caso o trabalho fosse realizado por uma máquina que possuía especificações e desempenho técnico adequado. Estes são fatores que têm levado à exportação de pedras brutas para lapidação no exterior para que lá se faça o processamento adequado da matéria-prima. É necessário desenvolver ferramentas tecnológicas para avançar na direção da eficiência na manufatura para melhor aproveitamento do material e aumento de produtividade.

O uso de máquinas-ferramentas CNC abre o caminho para um significativo aumento de produtividade no segmento de lapidação. É necessário fazer a integração da manufatura em processos de lapidação de gemas. Já existe um sistema CAD comercial, o GemCad®, desenvolvido por Strickland (2002), que é um software dedicado a auxiliar no desenho de modelos de lapidação. Ele simula uma máquina de facetamento e mostra o desenho reproduzido em três dimensões (Nadur, 2009). Este software, como outros CADs para design de gemas, executa somente parte da cadeia de manufatura CAx. Este artigo descreve o desenvolvimento de um pós-processador para fazer a integração da manufatura de produção de gemas, trazendo artefatos do sistema CAD até o comando CNC, formando uma cadeia completa de manufatura e fechando a lacuna que há neste segmento da indústria. O desenvolvimento foi baseado numa máquina virtual que possui os graus de liberdade de movimentação necessários para a execução da tarefa. Com isto, foi possível

identificar com mais clareza os requisitos técnicos a serem atendidos por uma máquina comercial dedicada. O desenvolvimento desta máquina é um tema em aberto a ser explorado.

2. PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA LAPIDAÇÃO

O primeiro passo na pesquisa consistiu em realizar um levantamento das exigências de qualidade envolvidas na lapidação de gemas. Estas informações são importantes tanto para definir o grau de acuracidade a ser entregue pelo pós-processador, quanto para dar uma noção clara acerca da qualidade mínima necessária para a construção de máquinas lapidadoras de alta qualidade. Não existe um padrão estabelecido de qualidade exclusivamente voltado para pedras preciosas de valor mais baixo, mas há estudos aprofundados acerca do beneficiamento do diamante, o que fornece uma base de qualidade a ser usada para outras pedras. Uma fonte importante destas informações é o *Gemological Institute of America* (Blodgett et al, 2017), que gerou um sistema de graduação da qualidade de lapidação de diamantes baseado em diamantes cortados no modelo Brilhante Redondo, que é o design mais conhecido e popular de corte para joalheria.

No sistema utilizado pela GIA são levados em conta os seguintes atributos da peça: simetria; polimento; tamanho da culeta; e espessura da cintura. Os atributos de polimento mostram uma classificação qualitativa e ocorre em testes visuais dos diamantes analisados através da aparência da vista superior, que é onde ocorre a reflexão da luz nas peças lapidadas. O polimento é avaliado visualmente com o uso de lentes com ampliação de 10X. Trata-se de um procedimento ainda bastante qualitativo e mais detalhes podem ser encontrados no artigo de Blodgett et al (2009). Os atributos relacionados com a simetria, tamanho da culeta e espessura da cintura são, ao contrário daqueles relacionados com o polimento, quantitativos. Eles são importantes para a parametrização de máquinas de lapidação.

Há aspectos da simetria que são relacionados com proporções, como apresentado por Geurts et. al. (2009), que dividiu estes parâmetros quantificáveis em 10 classes para auxiliar na seleção de diamantes. Estas características de simetria podem ser medidas com confiabilidade suficiente por um *scanner* óptico sem contato para determinar o grau de simetria em lapidações brilhantes redondas (RB) para diamantes (Geurts, et al, 2009).

A Tabela 1 mostra a classificação GIA para a graduação de simetria de diamantes lapidados com o design brilhante redondo e suas faixas limite para cada grau de simetria.

Tabela 1. Limites GIA para graduação da simetria de diamantes lapidação RB (Geurts et al, 2011)

Parâmetro	Excelente	Muito Bom	Bom
Desvio de Circunferência (%)	0-0.9	1.0-1.8	1.9-3.6
Mesa Fora de Centro (%)	0-0.6	0.7-1.2	1.3-2.4
Culeta Fora de Centro (%)	0-0.6	0.7-1.2	1.3-2.4
Alinhamento Mesa/Culeta (%)	0-0.9	1.0-1.8	1.9-3.6
Variação da altura da Coroa (%)	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.8
Variação do ângulo da Coroa (°)	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.8
Variação da profundidade do Pavilhão (%)	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.8
Variação do ângulo do Pavilhão (°)	0-0.9	1.0-1.8	1.9-3.6
Variação da espessura da Cintura (%)	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.8
Variação do tamanho da Mesa (%)	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.8

Com os dados das dimensões dos materiais a serem usinados é possível calcular as faixas de tolerâncias aceitáveis para a máquina de lapidação. Os dados dimensionais são importantes pois, dependendo do tamanho da pedra, a escala de precisão varia proporcionalmente, pedras menores exigem maior grau de precisão do que as pedras maiores. As faixas de tolerância admissíveis para máquinas de lapidação, conforme padrão do GIA, são mostradas na Tab. 2.

Tabela 2. Tolerâncias admissíveis para máquina de lapidação (Adaptado de Geurts et al, 2011)

Parâmetro	Tamanho (mm ou °)	Tolerância Max (%)	Variação (µm ou °)
Desvio de Circunferência (%)	4	1.8	72
Mesa Fora de Centro (%)	-	1.2	48
Culeta Fora de Centro (%)	-	1.2	48
Alinhamento Mesa/Culeta (%)	-	1.8	72
Variação da altura da Coroa (%)	0,162	2.4	96
Variação do ângulo da Coroa (°)	34,5	2.4	0,024
Variação da profundidade do Pavilhão (%)	1,724	2.4	96
Variação do ângulo do Pavilhão (°)	40,75	1.8	0,018
Variação da espessura da Cintura (%)	0,1	2.4	4
Variação do tamanho da Mesa (%)	2,2	2.4	96

3. ETAPAS DO PROCESSO DE LAPIDAÇÃO COM MÁQUINAS SEMI-AUTOMÁTICAS

A lapidação de gemas é realizada conforme as etapas a seguir:

- Desenvolvimento ou escolha de um modelo de lapidação;
- Desbaste;
- Serragem ou corte;
- Pré-formação;
- Encanetamento;
- Facetamento;
- Polimento;
- Descolagem;
- Limpeza.

Com a introdução do computador no processo de fabricação das gemas, lapidários experientes já têm usado softwares de desenho CAD, como o GemCad® (Strickland, 2002), para auxiliar no desenvolvimento da lapidação. O operador desenvolve seu desenho ou escolhe um desenho disponível na Internet. Tendo como ponto de partida este desenho, o mesmo executa a lapidação de acordo com as instruções fornecidas. Em máquinas semiautomáticas, o lapidário configura o equipamento e processa cada face da pedra individualmente realizando um controle manual durante o processamento.

A atividade de desbaste é feita golpeando-se a pedra com um martelo para retirar as falhas encontradas, o que produzirá uma pedra com as arestas quebradas e resultará somente no material interessante para lapidação. É feita então uma análise das propriedades físicas da pedra para encontrar a melhor posição da mesa, ou seja, a posição em que a luz incidirá sobre a pedra depois de lapidada. Opta-se pela face pela qual a luz passa com mais facilidade, ou seja, a mais translúcida. A serragem é feita após o desbaste, visando fazer com que a pedra fique rapidamente próxima ao formato desejado, com os contornos de acordo com o que foi escolhido no desenho de lapidação. A serragem é feita com uma serra diamantada com núcleo de cobre ou bronze e refrigerada a água ou óleo.

Na pré-formação são usadas rodas ou rebolos de lapidação de granulometria grossa para fazer uma remoção rápida de material, melhorando a forma produzida pela serra em direção ao projeto elaborado na atividade de desbaste. Após a pré-formação a gema estará pronta para a próxima atividade que é o encanetamento. O encanetamento consiste em fixar a gema numa haste que servirá de suporte para ela durante as etapas de remoção para gerar as facetas desejadas. A peça é fixada por um lado na haste e, após processada, é fixada pelo outro lado para completar a lapidação.

A próxima etapa é o facetamento, quando são geradas todas as superfícies previstas no desenho de lapidação. O facetamento é realizado sobre discos impregnados com abrasivos, como o próprio diamante. Esta é a etapa mais crítica na direção de se obter uma gema final com as características geométricas necessárias. E é nesta etapa que entra a possibilidade de contar com máquinas automáticas ou CNC para realização das diversas faces dentro da qualidade exigida. O polimento é realizado na mesma máquina e se utiliza das mesmas referências de posicionamento para gerar as facetas, mas a ferramenta de corte muda, utilizando para este processo discos específicos de polimento associados a grãos abrasivos com uma granulometria bem mais fina. Após o polimento, as faces não apresentam mais riscos visíveis na sua superfície, o que garante o efeito de brilho desejado pelo lapidário. Na Figura 1, é representado o posicionamento da gema durante a usinagem da sua cintura. Após a lapidação de cada face, a peça é girada em torno do seu próprio eixo de rotação para que seja produzida a face vizinha seguinte com o ângulo determinado pelo desenho. Concluída toda a circunferência, toda a haste é posicionada com um ângulo adequado com relação ao disco para que a próxima coroa seja produzida, e assim sucessivamente até finalizar todo o pavilhão, quando então a peça é retirada do suporte e fixada pelo outro lado para que todo o pavilhão contrário seja produzido. Ao final do processamento, a peça é limpa com álcool.

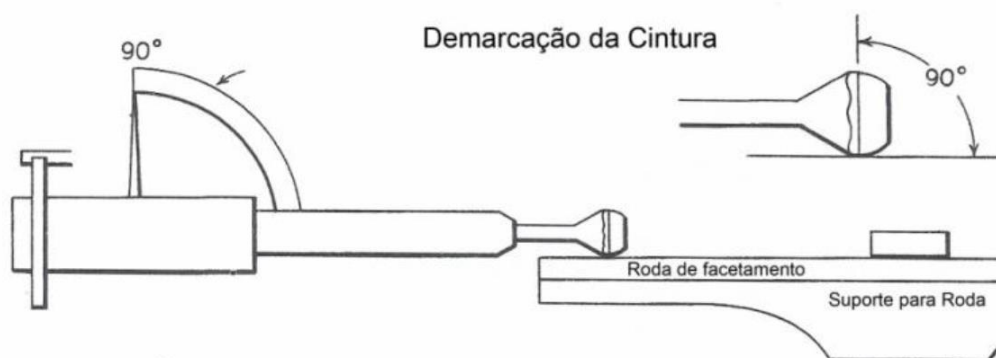


Figura 1. Posicionamento de uma gema para lapidação da cintura (Nadur *apud* Sinkanka, 2009).

3.1. Desenho de lapidação

A partir da definição do formato final desejado para a gema, o usuário pode modelar a pedra preciosa em uma ferramenta CAD dedicada, como o GemCad® (Strickland, 2002). Além de possibilitar a construção tridimensional da gema, a ferramenta apresenta uma tabela contendo a parametrização obrigatória a ser seguida para produzir o design específico de lapidação e uma tabela contendo as instruções de facetamento, especificando os ângulos do cabeçote de lapidação (ângulo da haste de suporte da gema) e o índice de lapidação (posição angular da gema em torno do seu eixo de rotação, com relação à superfície do disco de lapidação na máquina). A Figura 2 apresenta a tela do software contendo o modelamento de uma gema com formato piramidal.

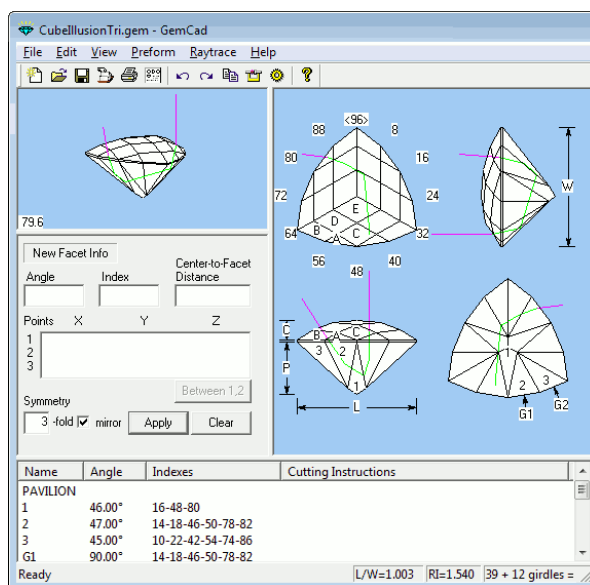


Figura 2. Gema modelada no GemCad® (Strickland, 2002).

A discretização das posições relativas de cada faceta a ser produzida constitui-se no ponto de partida para a definição das posições a serem assumidas pelos eixos da máquina CNC para produzir a gema desejada. Esta tradução dos dados geométricos do GemCad® para a linguagem de programação de máquina é a tarefa a ser desempenhada pelo pós-processador desenvolvido neste trabalho.

4. DESENVOLVIMENTO DO PÓS-PROCESSADOR

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do pós-processador é o processo unificado, ou metodologia UP (*Unified Process*), que é baseada em um conjunto de atividades necessárias para transformar requisitos do usuário em um sistema de software. O processo unificado combina ciclos iterativos e incrementais, possibilitando que um sistema de grande porte seja produzido como se fossem vários pequenos sistemas, diminuindo assim os riscos do projeto. A Figura 3 mostra as fases de desenvolvimento da metodologia UP.

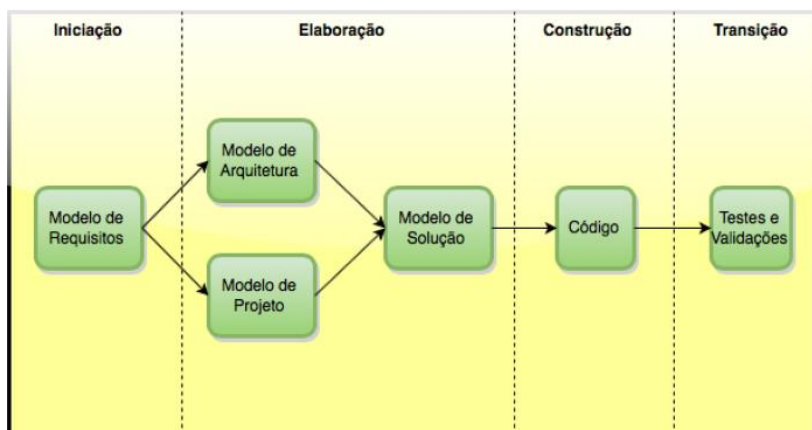


Figura 3. Fases da metodologia UP (Adaptado de SUN, 2003).

A fase de iniciação cria uma visão do software e foca no entendimento do problema para o sistema proposto. Nela, uma arquitetura preliminar é proposta, riscos importantes do projeto são identificados, e a fase de elaboração é planejada em detalhes. Como resultado desta fase, tem-se o modelo de requisitos e detalhamento de processos importantes para a aplicação.

Na fase de elaboração é definida a maioria dos casos de uso e também a arquitetura que vai suportar o sistema. A partir do modelo de requisitos, os requisitos não-funcionais são transformados no modelo de arquitetura, que definirá a estrutura de alto-nível da solução de software. Os requisitos funcionais são transformados em um modelo de projeto, que define componentes abstratos do software. E então os modelos de projeto e de arquitetura são juntados para produzir o modelo de solução, que define a estrutura detalhada da solução de software. No final desta fase, o gerente de projetos terá informações suficientes para planejar as fases de construção e de transição.

Na fase de construção, o software é construído, com o código sendo gerado a partir do modelo de solução. No final desta fase o sistema está pronto para uma versão beta.

Por fim, na fase de transição, o software sai da versão beta para a produção. Nesta fase são realizadas atividades que incluem testes de aceitação, depuração, treinamento de usuários, e construção de ambiente de produção. Para tanto, o software pós-processador será validado com o auxílio de uma máquina de lapidação CNC virtual.

A seguir, será apresentado o desenvolvimento dos quatro modelos que compõem as etapas de construção do pós-processador.

4.1. Modelo de requisitos

O modelo de requisitos fornece uma interface entre as necessidades do usuário e a equipe de desenvolvimento do projeto. Ele é composto por três elementos: a especificação dos requisitos de software (SRS), o diagrama de casos de uso e o diagrama de classes de domínio. O SRS e o diagrama de casos de uso descrevem os processos do software pós-processador, enquanto o diagrama de classes de domínio desvenda a estrutura de dados necessária para dar suporte para que os processos realizem suas funções.

A partir de uma coleta de dados com todos os envolvidos com o pós-processador, sejam usuários ou desenvolvedores, foi elaborada uma lista de requisitos classificados em requisitos funcionais e não-funcionais. Requisitos funcionais são declarações das funções que o sistema deverá realizar. Eles são apresentados na Tab. 3. As prioridades de desenvolvimento são classificadas como “Obrigatório”, para os requisitos essenciais ao funcionamento do software e “Desejado” para os requisitos que, se implementados, podem causar um impacto positivo ao software. Os requisitos não-funcionais são limitações nos serviços ou funções oferecidas pelo sistema, apresentados na Tab. 4.

Tabela 3. Requisitos funcionais do software pós-processador

Nº	Função	Categoria	Atributos, detalhes e restrições
1	O sistema gerará programas CNC a partir de arquivos de descrição de geometria de gemas lapidadas para automatizar o processo.	Obrigatório	Este programa automatizará a lapidação e o polimento.
2	O sistema deverá ter uma linguagem de descrição do processo de fabricação.	Obrigatório	Não dedicada a um único comando CNC.
3	O sistema deverá possibilitar a inserção de novas extensões de comandos CNC e seus respectivos padrões de comandos	Obrigatório	O usuário faz a inserção em tempo de execução.
4	O sistema deverá mapear a linguagem de descrição do processo de fabricação para comando CNC	Obrigatório	Após a inserção de novos comandos, fazer o mapeamento.
5	O sistema deverá possibilitar a inserção de novas extensões de formatos de descrições de geometria (CAD).	Obrigatório	O usuário faz a inserção em tempo de execução.
6	O sistema deverá possibilitar o mapeamento de novas extensões de formatos de descrições de geometria com a linguagem de descrição do processo de fabricação para comando CNC	Obrigatório	Após a inserção de novos formatos de geometria, deve ser feito o mapeamento.
7	O sistema deverá mostrar a geometria da lapidação em 3D	Desejado	
8	O sistema deverá possibilitar a movimentação da geometria de lapidação na visualização em 3D	Desejado	
9	O sistema deverá permitir a criação de programação do processo CNC através de componentes visuais (ícones).	Desejado	O programador só precisa conhecer componentes diagrama que representam comandos.
10	O sistema deverá possuir um ambiente de virtualização capaz de simular a máquina de lapidação e sua cinemática enquanto executa programas CNC gerados.	Desejado	O software mostra as trajetórias sem necessidade de outros softwares de máquina virtual.

Tabela 4. Requisitos não-funcionais do software pós-processador

Nº	Requisito	Categoria	Atributos	Detalhes e restrições
1	O sistema deverá funcionar em vários sistemas operacionais	Desejado		Linux, iOS ou Windows.
2	O sistema deverá suportar diversos formatos de arquivos de saída.	Desejado	Ilimitado número de comandos CNC.	Software deverá possuir uma interface de <i>plug-ins</i> de entrada.
3	O sistema deverá permitir vários formatos de arquivos de geometria (CAD).	Desejado		Software deverá possuir uma interface de <i>plug-ins</i> de saída.

Um caso de uso descreve um processo. Um processo, por sua vez, descreve uma sequência de eventos, ações e transações requeridas para produzir ou completar algo de valor para uma organização ou ator (Larman, 2000). Estes processos são as funcionalidades dos sistemas computacionais, as quais são descritas nos casos de uso, que mostra um conjunto de processos de um sistema, os atores do sistema, que são os usuários, e outras entidades que podem interagir com o sistema. Neste projeto, os atores são: o operador CNC, o designer de gemas e o sistema de virtualização de uma máquina CNC, que assume o papel de uma máquina real, interagindo com o pós-processador como se fosse a máquina.

Para completar o modelo de requisitos, um modelo de domínio traz a estrutura de dados do software.

4.2. Modelo de projeto

O modelo de projeto analisa os requisitos funcionais do modelo de requisitos para determinar a estrutura de componentes do projeto. A partir da seleção de um caso de uso do software, são determinados cenários possíveis do caso de uso selecionado e os componentes necessários para atender cada cenário. No desenvolvimento do pós-processador foram identificados modelos de projeto que possibilitaram a obtenção dos componentes básicos desenvolvidos no sistema e suas interações com os atores e com outros componentes.

A partir dos componentes básicos identificados, foram gerados seis diagramas de sequência que mostram a dinâmica do sistema, permitindo identificar como são implementados os cenários mais importantes dos casos de uso da aplicação.

4.3. Modelo de arquitetura

O modelo arquitetural faz a análise dos requisitos não-funcionais do modelo de requisitos para determinar os componentes de infraestrutura necessários para um sistema proposto. Estes componentes software darão suporte para o projeto de tal forma que irão satisfazer os requisitos não-funcionais. Este modelo compreende um diagrama de pacotes e um diagrama de componentes. Os pacotes ajudam a organizar os elementos de modelagem e consistem em um mecanismo para agrupar elementos da modelagem, facilitando com isto o trabalho e a organização do projeto. O diagrama de componentes consiste na parte lógica substituível de um sistema ao qual se adapta e fornece a realização de um conjunto de interfaces. Um bom projeto de software permite a substituição daqueles componentes mais antigos por mais novos, sendo eles compatíveis com as interfaces, isto sem alterações no funcionamento do núcleo da aplicação. O detalhamento destes diagramas citados será apresentado a seguir, na forma do modelo de solução geral do software.

4.4. Modelo de solução

Os modelos de projeto e arquiteturais são unidos para fornecer o primeiro rascunho do modelo de solução, que então poderá ser refinado para o modelo final. O modelo de solução é a base sobre a qual a equipe de desenvolvimento irá construir o código da solução do sistema.

A Figura 4 apresenta o modelo de solução completo desenvolvido para o pós-processador.

Neste modelo é possível identificar: os atores, os componentes de interface com o usuário, serviços, DAO, de integração e de estrutura de dados. Mostra também em alto nível as interfaces de interação entre eles.

Os componentes de interface com o usuário ficam dentro de um componente container chamado FaceterUI, onde há, basicamente, 7 telas diferentes que compõem a interface com o usuário do sistema.

Os componentes de serviço, no container FaceterService, atendem requisições dos usuários feitas através da interface com o usuário do componente FaceterUI. DAOFactory é o componente container para os componentes que abstraem o acesso a dados da camada de serviço. FaceterData é o componente que contém as classes de domínio do sistema. Finalmente, temos os componentes de extensão do software pós-processador: GeometryFactory e CNCFactory. Neles, há extensões para o software GemCad® e ISO6983. Estes dois *plug-ins*, GemCad® e ISO6983, foram implementados neste projeto, mas há a possibilidade de criação de novos e também inclusão no sistema em tempo de execução. Esta é uma flexibilidade visando permissão de expansão do software, o que configura um sistema extensível.

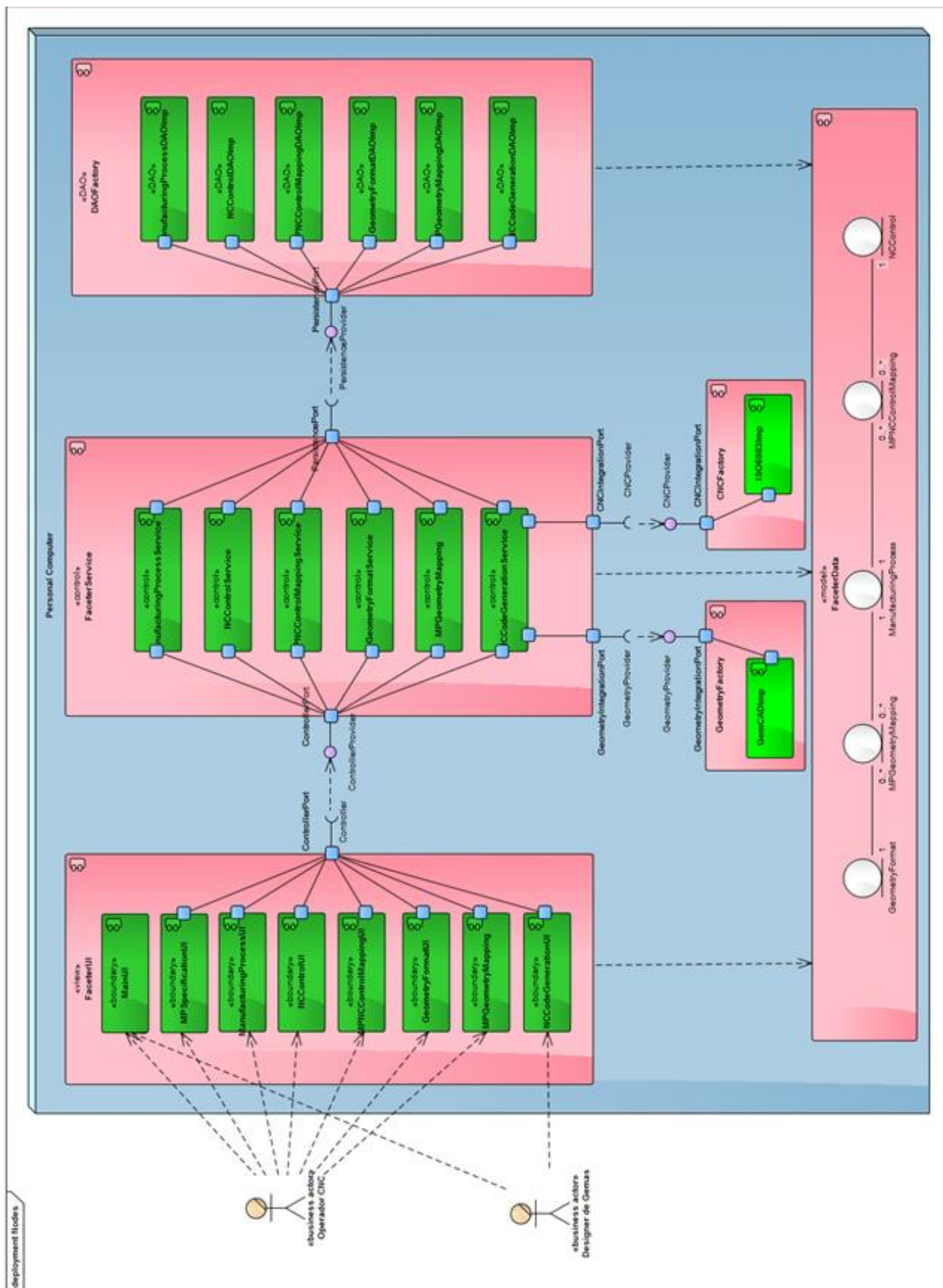


Figura 4. Modelo de Solução completo do pós-processador.

4.5. Interface com o usuário

O usuário interage com o sistema através de uma interface gráfica que mostra o estado da aplicação com o objetivo de gerar novos programas CNC baseados em modelos feitos em sistemas CAD. A partir do modelo de solução do software, cada componente basicamente gera uma interface para o sistema visando inserção ou configurações de dados.

A Figura 5 apresenta a tela principal do software habilitada para a edição da atividade de manufatura. Este componente permitirá a edição de dados dos processos, onde os principais dados são as funções do processo, que são comandos que serão usados na definição dos processos em linguagem agnóstica. A linguagem é estabelecida neste ponto, onde pode-se ver a palavra “Eixo-X=%1” na tela. Isto estabelece esta sentença como declaradora de eixos X em uma máquina, e argumento “%1” será substituído pelo valor em que tal eixo será deslocado. Para cada comando necessário uma entrada nesta tabela deverá ser definida.

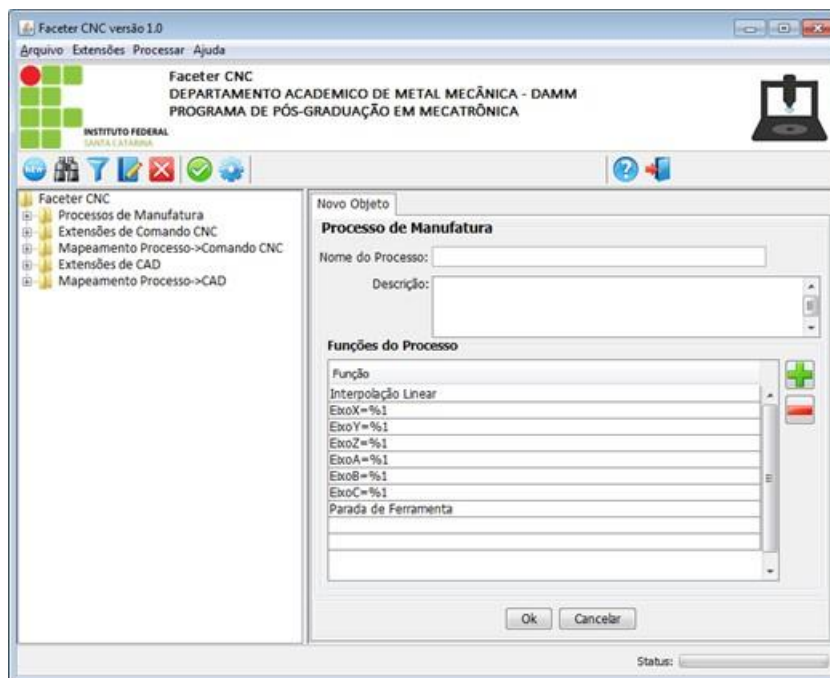


Figura 5. Interface de edição da atividade de manufatura do pós-processador.

Na sequência, outras interfaces foram geradas visando atender cada componente previsto para o software, como a extensão de comandos CNC, que visa incluir novos elementos que diferenciam comandos particulares; o mapeamento de processo, que relaciona os códigos de programação de máquina com as atividades de manufatura necessárias; a inserção de modelos CAD baseados em diferentes extensões de arquivos; e a interface que possibilita ao usuário correlacionar cada atributo do CAD com uma atividade de manufatura, gerando condições para que o pós-processador sequeencie as ações individuais para criar o programa em linguagem de máquina conforme o padrão CNC escolhido.

5. AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES

Como não existe uma máquina CNC disponível para que se possa testar as funcionalidades do pós-processador desenvolvido, a estratégia de avaliação foi baseada em construir uma máquina CNC virtual que possua a cinemática apropriada para beneficiar as gemas. A Figura 6 apresenta a máquina desenvolvida para este propósito, que é baseada na tecnologia *Faceting Head*, amplamente difundida na lapidação de gemas. Trata-se de uma máquina com configuração 2 ½D, que realiza o posicionamento dos eixos nos graus de liberdade necessários e então atua com um movimento principal único de avanço da gema contra a ferramenta de corte, que neste caso é o disco abrasivo. Este projeto não envolveu o detalhamento dos requisitos técnicos para uma máquina CNC apropriada à tarefa automática, mas possibilitou gerar conhecimento útil para alimentar dados aos projetistas de máquinas.

O pós-processador foi habilitado inicialmente para processar arquivos oriundos do GemCad®. O pós-processador também é capaz de receber outros formatos CAD de entrada, que devem ser devidamente mapeados através do Assistente de Inclusão de Extensões CAD.

Da mesma forma, diferentes comandos CNC podem ser incluídos no software para gerar saídas adequadas. No caso em estudo, a máquina virtual desenvolvida é baseada em um comando completamente compatível com a norma ISO6983.

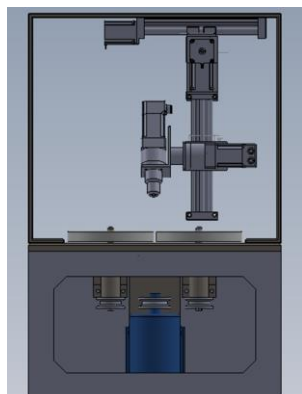


Figura 6. Máquina virtual para simulação do pós-processador.

O elemento fundamental para o funcionamento do pós-processador é a descrição da atividade de manufatura. Para cada modelo de gema a ser produzido, é possível sequenciar as operações de deslocamento em vazio e em processo que são necessárias para produzir a gema. Uma vez sequenciadas as operações, é possível fazer uma correlação entre os atributos adquiridos no modelo CAD e a linguagem de CNC aceita pela máquina que executará a manufatura da gema.

Uma simulação da fabricação de um pavilhão brilhante redondo na máquina virtual produzida levou à geração de um código que foi testado e qualificado na máquina virtual. Um extrato do código gerado no pós-processador pode ser visto na Fig. 7.

```
; ***** FAZ O SETUP INICIAL DA MAQUINA *****
G21
G90
G00 X=-64 Y=0 Z=0
M8
M3
S2400
F60

; ***** EXECUTA A PRIMEIRA CAMADA DE FACETAS *****
G00 -90.00
#3 = #2 - 1.00000
#4 = 85 + #3
; 'CAMADA = 1, INDEX = 1'
G00 Z=85
#5 = 93 * 3.75
G00 #5
G01 Z=#4

; 'CAMADA = 1, INDEX = 2'
G00 Z=85
#5 = 87 * 3.75
G00 #5
G01 Z=#4
```

Figura 7. Extrato do código gerado pelo pós-processador para operação na máquina virtual.

6. CONCLUSÕES

O pós-processador desenvolvido atende adequadamente a tarefa de transformar modelos CAD de gemas que possuem desenhos específicos em comandos de máquina para diferentes tipos de CNC. O software possui flexibilidade para receber modelos CAD com diferentes formatos, bem como também possibilita que diferentes comandos CNC recebam programas para lapidação de gemas. A máquina CNC virtual criada possibilitou que o pós-processador fosse devidamente testado.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do software pós-processador facilitou o processo como um todo, permitindo que as etapas fossem separadas, o que facilita ações futuras de aprimoramento do software em blocos específicos. Esta mesma metodologia tem potencial para desenvolvimento de outros pós-processadores para atividades específicas de CNC.

Os próximos desafios nesta linha de desenvolvimento estão relacionados à montagem de uma máquina lapidadora CNC real, possibilitando assim a melhoria de qualidade e produtividade na lapidação de gemas nacionais. Os estudos utilizados neste projeto permitiram levantar requisitos importantes de projeto para estas máquinas.

7. REFERÊNCIAS

- Blodgett, T.; Geurts, R.; Lucas, A.; Pay, D.; Reinitz, I.; Shigley, J.; Yantzer, K.; Zinc, C. 2009. "Finish, Culet Size and Girdle Thickness: Categories of the GIA Diamond Cut Grading System". Disponível em: <http://www.diamondcut.gia.edu/pdfs/booklet_finish_culet_girdle.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2017.
- Geurts, R. H.; Reinitz, I. M.; Blodgett, T.; Gilbertson, A. M., 2011. "GIA's Symmetry Grading Boundaries for Round Brilliant Cut Diamond". *Gems & Gemology*, Vol. 47, No. 4, pp. 286-295.
- Favacho, M., 2001. "Quartzo". In: Castañeda, C. et al. (org.) "Gemas de Minas Gerais". Belo Horizonte, Soc. Brasil. Geologia. p. 220-233.
- Larman, C., 2000. "Utilizando UML e padrões: uma introdução à análise e ao projeto orientados a objetos e ao desenvolvimento iterativo". 3. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Nadur, V.A., 2009. "A lapidação de gemas no panorama brasileiro". Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. USP. Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia. São Paulo.
- Strickland, R. W., 2002. "GemCad® for Windows, version 1.0. User's Guide". Disponível em: <<http://www.gemcad.com/downloads/gemcadman.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2017.
- SUN. Sun Microsystems, 2003. "Object-Oriented Analysis and Design Using UML OO-226". Revision C. Broomfield.
- Zanatta, A. L. et. al., 2010. "Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração". Porto Alegre: IGEO/UFRGS. Cap. Tecnologia 3D Gemas: visualização de projetos virtuais de lapidação, p. 53-76.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DEVELOPMENT OF A POST-PROCESSOR SOFTWARE FOR CNC MACHINES OF GEMS LAPIDARY

Rodrigo Dinis, polli.rodrigo@gmail.com¹

Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br¹

Milton Pereira, milton.pereira@ufsc.br²

¹Mestrado Profissional em Mecatrônica, IFSC, Campus Florianópolis, SC

²Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, SC

Abstract: Brazil is known worldwide for its gemstone's wealth. However, in the country, the lapidary cutting is realized, generically speaking, with artisanal way. There are many gem cutting designs made to semi-automatic and manual machines, each one presenting a different cutting approach. The lapidary cutting has been done using these diagrams on such non-automatic machines, they have had resulting on low production and are susceptible to human errors. CAD software exists and are spread in the lapidary market, they enable the design creation automation, resulting on several flexibilities of creation, and bringing to lapidary professionals a model generation to be followed during the cutting gemstone process. To improve the cutting productivity the trend is beginning from an already done CAD design and integrate that model quickly and directly with automatic gemstone cutting machines. Having as foundation manufacturing chains based on CNC, was developed a post-processor software, enable to integrate CAD design and such automatic CNC machines. This article presents the conception, design and outcomes accomplished in the software building, such software allows to work with different cutting designs formats, commands, and CNC machinery. The software generates CNC programs in a flexible way, using software extensions to couple different CAD and CNC commands. Join that software with automatic cutting machines it will enable an increase in productivity, associated with improvements on quality and stability of gemstone cutting process.

Key-words: Gemstone cutting, Post-processor CNC, Lapidary Cutting Automation.