

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DA TRAJETÓRIA DE CORTE A PARTIR DE ARQUIVOS DXF

Alessandro Marques, amarques@ufpr.br
Dalberto Dias da Costa, dalberto@ufpr.br
Tiago Marcelo Araujo dos Santos, tiago.ufpr@gmail.com

Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Mecânica – Curitiba – PR

Resumo: *O corte bidimensional de chapas vem sendo intensivamente realizado com o emprego da tecnologia CN (Comando Numérico). Esta propicia a obtenção de contornos por meio de diferentes processos, tais como o plasma; o laser e aqueles baseados em jatos de água e ar. O primeiro passo é a modelagem digital da peça a ser cortada. Esse modelo deve ser armazenado e transferido de acordo com um formato previamente conhecido. Dentre os formatos mais utilizados destaca-se o DXF (Drawing eXchange Format). Neste, a geometria e informações auxiliares para desenho, tais como textos; tipos, espessuras e cores das linhas são descritas em um arquivo de texto sequencial. Entretanto, a topologia, isto é como as entidades geométricas estão organizadas, não é fornecida. Isto implica em um empecilho para a transferência do desenho para o comando da máquina de corte. O objetivo neste trabalho é apresentar uma metodologia para geração da trajetória de corte (tocha ou bocal) tendo como informação primária a geometria da peça representada em DXF. Ela se restringe ao problema geométrico e foi estruturada em cinco partes: extração das entidades geométricas; organização espacial das mesmas na forma de contornos fechados; classificação dos contornos em externo e interno; definição da sequência de corte e o cálculo da trajetória considerado a compensação devido à sangria. Um protótipo computacional da metodologia proposta foi implementado em MS Visual Basic, o qual propiciou a realização de testes com modelos de peças de variadas geometrias. Apesar de ser apenas o primeiro passo, os resultados obtidos permitem vislumbrar a possibilidade de criação de um software de baixo custo para a automação do corte de chapas.*

Palavras-chave: *Programação CNC, DXF, corte de chapas*

1. INTRODUÇÃO

O corte de chapas, metálicas ou não, é uma tarefa necessária à fabricação de diversos produtos. Esses componentes são, na sua maioria, cortados a partir de uma chapa plana e de espessura constante e, caso necessário, dobrados ou soldados na sua forma final. Tradicionalmente, na indústria metal-mecânica, o corte é realizado em prensas, com o auxílio de ferramentas (matrizes) dedicadas, pois atendem a uma determinada geometria de peça (Degarmo et al., 1997).

Entretanto, matrizes dedicadas demandam, no seu desenvolvimento e preparação, investimento e tempo elevados, os quais só podem ser justificados na produção em grandes lotes. A tendência atual dos sistemas de manufatura indica um cenário de produção em pequenos lotes de produtos com ciclo de vida curto. Isto implica na necessidade da utilização de processos de corte mais flexíveis e com menor tempo de preparação.

Processos baseados nas tecnologias de corte por laser (Yilbas, 2008), jato de água mais abrasivos (Jegaraj e Babu, 2005), plasma (Bini, 2008), ou até mesmo por jato de ar quente (Prakash et al. 2001) atendem aos requisitos de flexibilidade e baixo tempo de preparação. Diante disso, eles vêm sendo utilizados, em substituição às prensas, na produção de pequenos lotes.

Apesar de empregarem mecanismos de corte distintos, os processos mencionados anteriormente possuem dois pontos em comum. O primeiro refere-se ao uso da tecnologia CN (Comando Numérico) para programação e controle de todos os movimentos necessários ao corte.

O segundo diz respeito ao modelo geométrico do produto, o qual, na maioria dos casos, é representado em um único plano, por meio de elementos geométricos básicos, tais como retas, arcos de circunferência e círculos. Esse arquivo bidimensional (2D) é comumente armazenado e transferido de acordo com os formatos digitais dos sistemas CAD (Computer-Aided Design). Essa formatação pode ser classificada em: proprietária, isto é, de uso exclusivo de uma

dada empresa; aberta — estrutura de dados conhecida, mas ainda de propriedade de uma única organização; ou aberto-neutro, que além de ser divulgada é desenvolvida e mantida por uma comunidade oficial (Lubell, et al. 2004).

Dentre os diversos formatos existentes, destaca-se o DXF (Drawing Exchange Format), de propriedade da empresa Autodesk Inc. (San Rafael, California, USA). Ele é considerado um padrão *de facto*, isto é, de grande aceitação para a armazenagem e transferência de dados entre sistemas CAD e CAM (Computer-Aided Manufacturing), particularmente para o corte de chapas (Da Silva, 2001 e Jagirdar,1995). Apesar de pertencer a uma única empresa, o DXF é considerado aberto, pois sua estrutura de dados é divulgada e atualizada regularmente pela Autodesk (Autodesk, 2010).

Todavia, apesar de o modelo geométrico do produto a ser cortado estar representado por uma estrutura de dados conhecida, a sua transformação em movimentos, isto é, a trajetória de corte, ainda é de domínio de poucas empresas e constitui-se em parte do *know-how* das mesmas. Diante disso, o objetivo neste trabalho é apresentar uma metodologia para geração automática da trajetória de corte a partir dos dados geométricos da peça. Entretanto, foge ao escopo do mesmo o tratamento de dados tecnológicos, como por exemplo, velocidades, potência de corte, especificação de gases, etc.

Além desta introdução, o artigo contém, nas próximas seções a metodologia; a apresentação e discussão dos resultados obtidos com um protótipo computacional implementado em MS Visual Basic; a conclusão e referências bibliográficas.

2. METODOLOGIA

A geração da trajetória de corte se inicia com a abertura do arquivo digital e interpretação dos dados geométricos utilizados na modelagem da peça a ser cortada. Neste trabalho optou-se por utilizar o modelo DXF como entrada de dados. Além de ser um formato cuja documentação é facilitada (Autodesk 2010), ele pode ser processado (lido) por um grande número de sistemas CAD comerciais; sendo que vários deles possibilitam a conversão de seus formatos proprietários em versões de alta portabilidade, isto é, que podem ser transferidas para outras aplicações.

Entretanto, o formato DXF não contém informações sobre a topologia da peça, ou seja, os elementos geométricos são listados na ordem que foram criados. Isto cria um empecilho para a geração da trajetória de corte, pois nem sempre, a ordem de criação irá produzir contornos fechados e contínuos, condição necessária à movimentação do bocal de corte. Diante disso, torna-se necessário a inclusão de uma etapa para a união dos elementos geométricos dos contornos e a sua posterior classificação em interno ou externo.

Outra etapa importante é o ajuste dos contornos (*offset*), também denominado Correção do Raio de Corte (CRC), pois a posição do bocal deve estar sempre do lado oposto em relação ao contorno acabado. Isto implica em determinar, para um dado valor de ajuste, uma trajetória segura que irá garantir a forma e dimensões da peça. O valor do ajuste varia de acordo com o processo, espessura e material da peça, portanto assume-se aqui que ele deva ser uma variável para fins de cálculo, porém previamente informado.

Na maioria dos casos, uma peça é composta por vários contornos, o que implica em uma sequência de corte que, em determinados momentos, deva ser interrompida para que o bocal seja reposicionado ao contorno seguinte. Diante disso, faz-se necessário a determinação da ordem e dos pontos de aproximação para cada contorno. Obrigatoriamente, os contornos internos devem ser produzidos antes do externo.

Finalmente, a última etapa é aquela em que uma sintaxe específica, composta de comandos, é associada às coordenadas dos elementos geométricos para geração do programa CN. Neste trabalho optou-se pela utilização do padrão EIA 274, o qual é bem similar aquele da norma ISO 6983.

2.1. Processamento do Arquivo DXF

A estrutura de dados de um arquivo DXF é dividida nas seguintes seções (Autodesk, 2010): HEADER; TABLES; BLOCKS; ENTITIES e EOF.

Os arquivos DXF podem ser criados no formato binário ou texto (ASCII). Por uma questão de ordem prática optou-se pela versão em texto, pois isto facilita a compreensão da estrutura de dados e a realização de testes. A seção ENTITIES é a mais importante de todas e, portanto foco deste trabalho, pois contém os dados geométricos. A Figura (1) contém uma ilustração de como as entidades linha, arco e círculo são representadas dentro da seção ENTITIES. Esta figura é meramente ilustrativa e foi configurada na forma de uma tabela, com a inclusão da coluna “número”, para facilitar a comparação da representação dos três elementos geométricos.

O arquivo a ser lido é seqüencial, portanto fica fácil estabelecer uma rotina para abertura do mesmo e busca pelas suas entidades geométricas. A palavra “AcDbline”, tal como mostrado na Fig. (1), linha 1, serve como marcador para o início da linha. De modo similar, funcionará o marcador “AcDbcircle” para os círculos. Quanto aos arcos, existe uma diferença, pois são usados dois marcadores: “AcDbcircle” e “AcDbarc” linha 11 da Fig. (1). Neste caso, definem-se primeiro o centro (linhas 2-7) e o raio do círculo (linhas 8-9). Depois, na linha 11 aparece o marcador “AcDbArc” seguido pela definição do arco inicial e arco final (linhas 12-15).

Deve-se observar que os dígitos “10”, “20”, “30”, “40”, “50” e “51” não representam valores, mas sim marcadores para as coordenadas dos eixos X, Y, Z, o raio do círculo, arco inicial e arco final, respectivamente e devem ser interpretados de acordo com a entidade correspondente.

Dessa forma, o arquivo pode ser lido sequencialmente, e à medida que a linha lida coincide com um marcador, as propriedades daquele elemento serão armazenadas até o final da sua seção, a qual é indicada pelo marcador “ 0” — dois espaços seguidos de um zero.

A seção ENTITIES ainda contém outros códigos de grupo, relacionados, por exemplo, com a espessura e cor da linha, mas que foram desconsiderados neste trabalho. O fluxograma para a leitura do arquivo e filtro das entidades geométricas pode ser visto na Fig. (2).

Após a aplicação do filtro, as entidades encontradas são alocadas em três estruturas (classes) específicas, denominadas aqui de RETA; ARCO e CÍRCULO. Para as linhas (ou retas) são armazenados os pontos inicial e final. Para os arcos as propriedades são: as coordenadas (X,Y) do centro; o raio; o arco inicial, o arco final e as coordenadas cartesianas dos seus pontos inicial e final. Em princípio, essas duas últimas são consideradas redundantes, porém elas serão úteis nas etapas posteriores. Quanto aos círculos, bastam as coordenadas do centro e o raio. Uma quarta estrutura, denominada aqui de AGER, será necessária para manter uma lista dos tipos e apontadores para as três entidades. Ela será útil nas etapas seguintes, relativas à extração e classificação dos contornos e o cálculo da correção do corte.

Número	LINHAS	ARCOS	CÍRCULOS
1	AcDbLine	AcDbCircle	AcDbCircle
2	10	10	10
3	-40.0	-50.0	0.0
4	20	20	20
5	50.0	50.0	0.0
6	30	30	30
7	0.0	0.0	0.0
8	11	40	40
9	40.0	10.00000000000001	15.0
10	21	100	0
11	50.0	AcDbArc	
12	31	50	
13	0.0	0.0	
14	0	51	
15		270.0	
16		0	

Figura 1. Trecho de uma seção ENTITIES em um arquivo DXF.

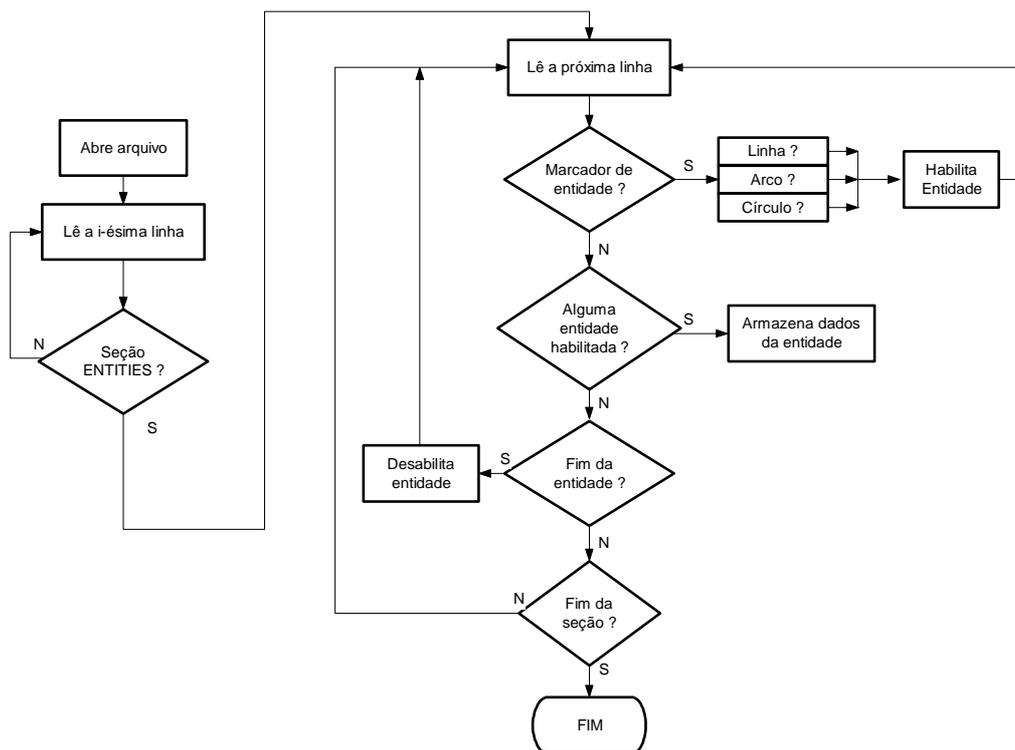


Figura 2. Fluxograma do filtro para os arquivos DXF

2.2. Extração e Classificação dos Contornos

Na seção **Introdução**, foi dito que o formato DXF não preserva a organização espacial das entidades geométricas, ou seja, não contém informações sobre a topologia. Isto não causa problemas para impressão ou visualização, porém a trajetória de corte não pode ser calculada sem que exista uma definição clara das partes que compõem a peça a ser produzida. As partes de uma peça serão tratadas aqui como contornos fechados, isto é, figuras geométricas compostas pela união de retas; arcos; retas e arcos; somente arcos ou somente círculos.

Diante disso, definem-se aqui as seguintes restrições para a separação e classificação dos contornos: eles devem ser fechados; eles não podem se interceptar; o milímetro é a única unidade de comprimento; e o modelo DXF deve conter os contornos de uma única peça. Isto implica na existência de apenas um contorno externo e de múltiplos ou nenhum interno.

O primeiro passo para a extração dos contornos, ver fluxograma na Fig. (3), é a criação de uma lista temporária (ATEMP) contendo os apontadores armazenados na estrutura AGER. Essa lista será processada de acordo com o tipo da entidade encontrada. Se for um círculo, cria-se um novo contorno (C_j) e remove seu apontador da lista. Caso contrário, restam duas alternativas: reta ou arco. Para ambas, independente do tipo, recuperam-se, na estrutura correspondente, o ponto inicial (P_{in}) e o final. O ponto final é armazenado como ponto atual (P_{at}). Esse apontador também é removido da lista.

A lista ATEMP é processada; e para sua entidade seguinte é verificado se o P_{at} equivale a um de seus pontos P_i (inicial) ou Q_i (final). Se afirmativo, o ponto da extremidade oposta é convertido em P_{at} e essa entidade é removida da lista. Caso nenhum dos pontos dessa entidade coincida com P_{at} , um segundo teste é efetuado comparando-o com o ponto inicial (P_{in}). Se não coincidirem, a lista ATEMP continua a ser percorrida iterativamente e novas comparações entre P_{i+1} , P_{i+1} e P_{at} são realizadas. Se afirmativo ($P_{at} = P_{in}$), obtém-se um contorno fechado (C_j) e, caso ainda restem entidades em ATEMP ela é recursivamente processada até que todos os contornos sejam extraídos. Se todos os testes anteriores falharem, então existe um contorno aberto, mas a extração dos demais continuará, caso ainda existam outros elementos em ATEMP.

O teste de coincidência entre pontos é feito pela comparação da distância entre eles e um valor de referência próximo a, mas não exatamente, zero. Esse valor funciona como uma tolerância e depende muito da resolução adotada para as variáveis numéricas e também do resultado dos cálculos efetuados, principalmente nas funções trigonométricas. Tendo como base a resolução adotada na programação CN, a qual é estabelecida em torno de 1×10^{-3} milímetros, pode-se adotar com boa segurança um valor limite de 1×10^{-4} .

As áreas, dimensões e posições das caixas envoltórias são calculadas após a extração de todos os contornos. As áreas são utilizadas para verificação da orientação dos contornos (horário ou anti-horário) e classificação, isto é, aquele de maior área é classificado como externo, e os demais como internos. No caso de contornos formados apenas por retas, a área é calculada pelo método do produto vetorial (Venturi, 2009). Ocorrendo a presença de arcos, eles são primeiramente convertidos em triângulos com vértices nos pontos inicial, final e médio; e novamente aplica-se o produto vetorial. Obviamente, o resultado desse cálculo será aproximado, mas é considerado suficiente para o propósito definido anteriormente. No caso de círculos, a área é calculada por meio da fórmula clássica.

A caixa envoltória é determinada pelos vértices do retângulo que envolve o contorno. Sua aplicação ocorre nas etapas de visualização, determinação da ordem e cálculo do ponto inicial de corte para os contornos internos.

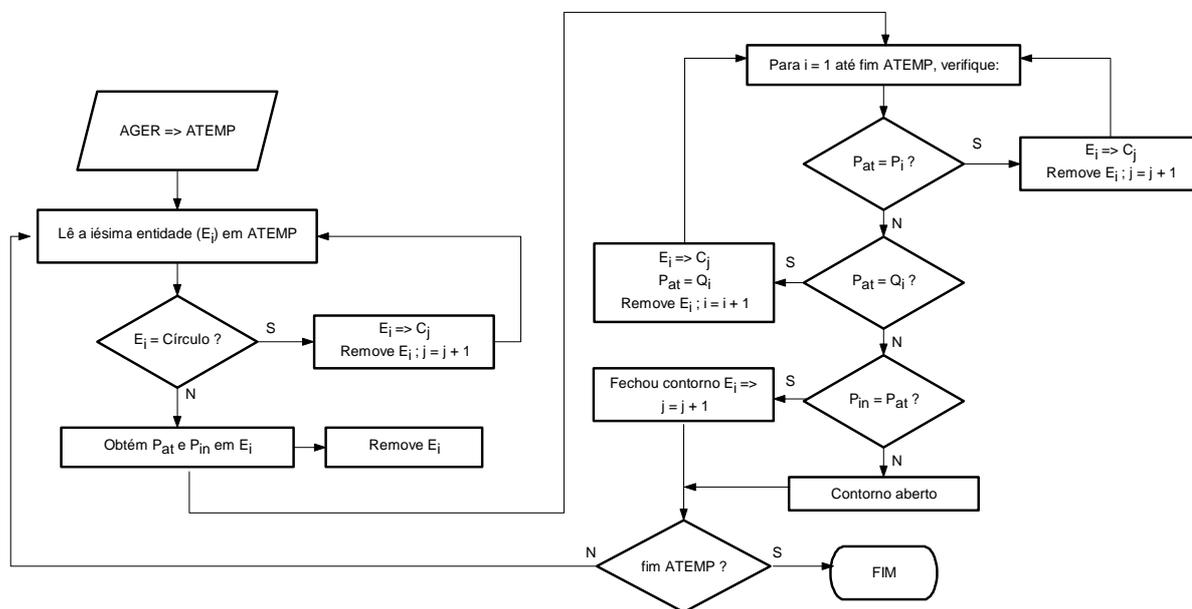


Figura 3. Método para extração dos contornos

2.3. Correção do Raio de Corte

A correção do raio de corte (CRC) é necessária em decorrência da largura da sangria (incisão provocada pelo jato de corte). Apesar de o diâmetro do orifício do bocal ser pequeno, a sangria pode ser muito superior, afetando as dimensões do produto acabado. No jato de água abrasivo, por exemplo, o diâmetro do orifício é da ordem de poucos décimos de milímetros (0,25-0,7)mm, porém a largura da sangria pode atingir até 3mm, dependendo da pressão de trabalho e da vazão (Jegaraj e Babu, 2005).

A correção do raio de corte pode ser considerada como um caso particular do cálculo do ajuste de contornos (offset) (Liu, et al. 2007). Ela é particular, porque regiões côncavas formadas por duas retas não podem ser produzidas e, se compostas de dois arcos, eles devem ser tangentes. Essa limitação é de ordem física e não geométrica. Além disso, o ajuste de um contorno pode interferir na forma de outro que esteja muito próximo a ele. Para uma descrição melhor desses tipos de interferência veja Da Costa e Volpato (2008).

Para o cálculo da CRC, devem-se conhecer, previamente, três parâmetros: a classe do contorno (externo ou interno), seu sentido (horário ou anti-horário) e o valor da sangria. Na seção anterior foi apresentado como a classificação e o sentido do contorno são obtidos. A determinação da largura da sangria foge ao escopo deste trabalho, restando apenas a alternativa de torná-la uma variável, cujo valor deve ser informado antes do início desta etapa.

A correção será realizada de maneira independente, e individual, para cada um dos contornos extraídos. Isso significa que uma possível interferência da correção de um contorno sobre um outro adjacente a ele não será considerada. As regiões côncavas serão consideradas válidas somente se seu vértice for um ponto de tangência entre dois arcos ou uma reta e um arco. Demais condições tornarão esse vértice inválido. A definição de uma concavidade é relativa e depende da posição (interna ou externa) do bocal de corte em relação ao contorno.

Para a CRC de um contorno formado apenas por um círculo, basta conhecer a posição do bocal (interno ou externo) e adicionar ou subtrair o valor da sangria ao raio do círculo. Para os demais casos, ela se reduz a um problema de cálculo de interseções, entre duas retas, dois arcos ou entre uma reta e um arco, tal como detalhado a seguir.

2.3.1. Interseção Entre Duas Retas

A Figura (4) contém uma representação genérica de duas retas P e Q que se interceptam em um ponto conhecido iT1. O problema consiste em como determinar uma nova interseção caso essas duas retas sejam deslocadas, pelo valor S da sangria, na direção de suas normais. As retas P e Q podem ser representadas pelos vetores U e V. O vetor W é o vetor bissetriz do arco formado por U, V. O ângulo pode ser calculado a partir do produto escalar entre U e V e G pela projeção de S na direção W, tal como definido pelas Equações (1-3).

$$\vec{W} = |\vec{U}|\vec{V} + |\vec{V}|\vec{U} \quad (1)$$

$$\gamma = a \cos\left(\frac{\vec{U} \cdot \vec{V}}{|\vec{U}||\vec{V}|}\right) \quad (2)$$

$$G = \frac{S}{\cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \quad (3)$$

Após a definição de W e G, o módulo de W deve ser corrigido pelo valor de G, tal como definido pela Eq. (4). Em seguida podem se encontrar as coordenadas absolutas de iT2 a partir da interseção inicial iT1 e o vetor W, veja Eq. (5).

$$\vec{W} = \frac{\vec{W}}{|\vec{W}|} G \quad (4)$$

$$iT2x = iT1x + \vec{W}_i \quad e \quad iT2y = iT1y + \vec{W}_j \quad (5)$$

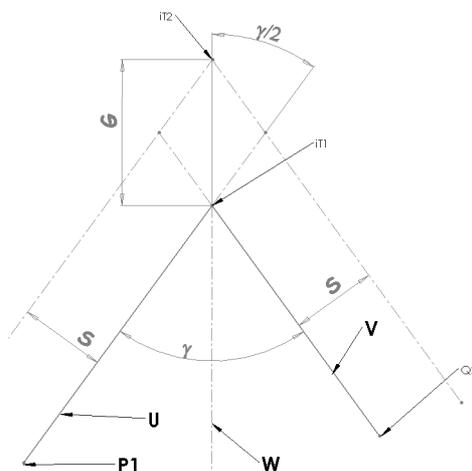


Figura 4. Interseção entre duas retas

2.3.2. Interseção Entre Reta e Arco

A interseção entre uma reta e um arco é esquematicamente representada na Fig. (5). Neste caso, duas situações devem ser avaliadas: se a reta é tangente ou se é secante ao arco. No primeiro caso, os vetores M e Q são perpendiculares. Q é o vetor dado pela reta $P1-iT1$. A distância $O-iT1$ é o raio do arco inicial e $O-iT2$ é o raio do arco corrigido, ou seja $O-iT1$ mais o valor da sangria (S). A solução, portanto, consiste em determinar M , que neste caso será o próprio W e corrigir seu módulo, de maneira similar ao descrito pela Eq. (4). As coordenadas do ponto de interseção final ($iT2$) serão obtidas utilizando a Eq. (5).

No segundo caso — reta secante ao arco — a solução se inicia com a determinação dos vetores W , Q e T . W é dado pela reta $O-iT1$. Q é dado pela reta $P1-iT1$ e T é perpendicular a Q . A interseção de Q e T ocorre no ponto a , cuja distância para a origem do arco (O) é H . Sendo γ o ângulo formado pelos vetores T e W , e que pode ser obtido de modo similar pela Eq. (2), o valor de H será aquele dado pela Eq. (6).

O ângulo α é calculado diretamente pela função cosseno, pois o triângulo $O-b-iT2$ é retângulo, e seus lados D e $R2$ já são conhecidos. O ângulo ϕ é o suplementar de α . Por conseguinte, β é encontrado subtraindo-se γ de ϕ . O vetor M pode ser obtido pela rotação de W no valor de β , tal como definido na Eq. (7). Como uma reta secante produz dois pontos de interseção, deve-se obter um segundo ponto girando W no valor de $-\beta$. O ponto de interseção mais próximo da interseção inicial ($iT1$) será considerado como solução. Para ambos os valores de β , $iT2$ é determinado substituindo W por M na Eq. (5).

$$H = R1 \cos(\gamma) \quad (6)$$

$$\vec{M}_i = \vec{W}_i \cos(\beta) - \vec{W}_j \sin(\beta) \quad \text{e} \quad \vec{M}_j = \vec{W}_j \cos(\beta) + \vec{W}_i \sin(\beta) \quad (7)$$

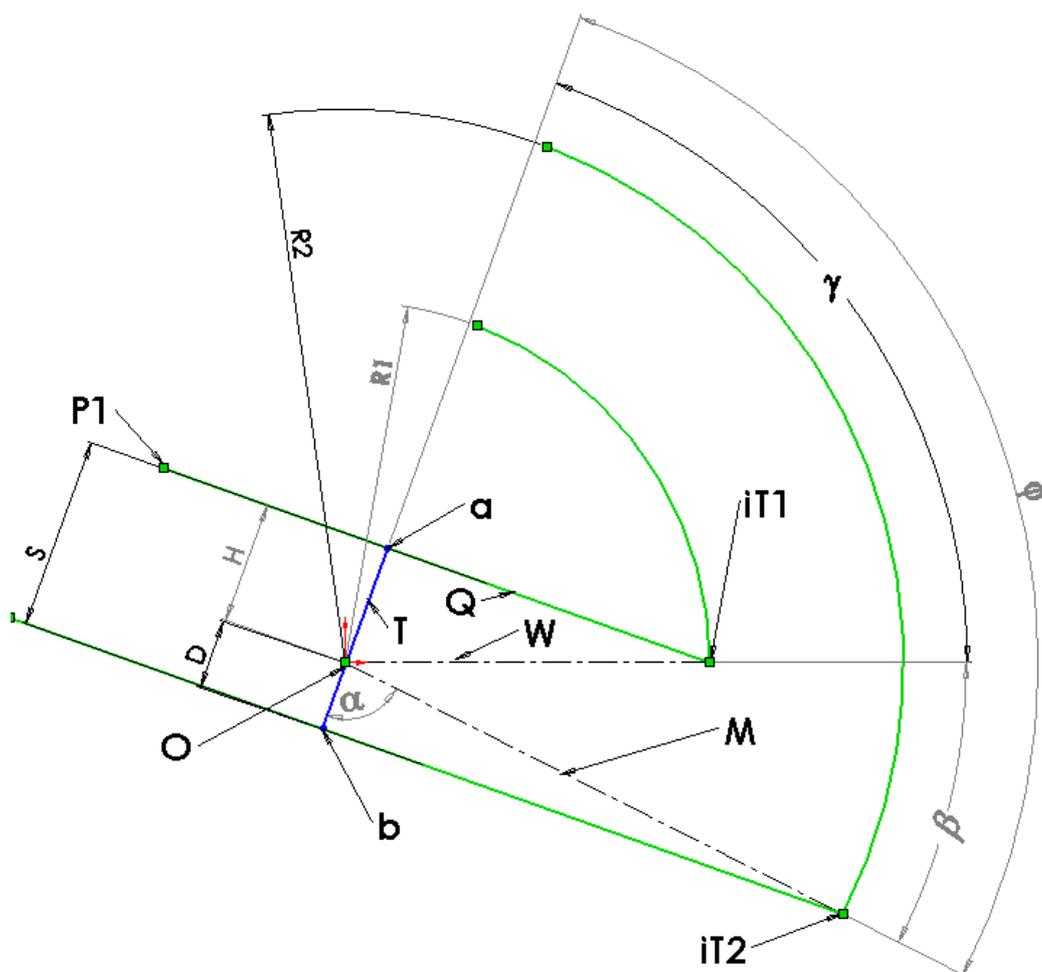


Figura 5. Interseção entre reta e arco

2.3.3. Interseção entre arco e arco

As condições para interseção arco-arco são similares às encontradas no caso reta-arco, isto é, elas podem ser tangentes ou secantes. A condição de tangência é determinada pelo teste da colinearidade, o qual pode ser realizado pelo cálculo do produto vetorial entre os vetores W e Q , ver Fig. (6). Caso esse produto seja zero, os vetores são paralelos, mas como eles têm pelo menos um ponto em comum, eles serão também colineares e, portanto, os arcos são tangentes entre si.

No caso de serem secantes, a solução começa pela determinação dos vetores W e Q . W é dado pela reta $C1-C2$. Q é dado pela reta $C2-iT1$. O ângulo γ é calculado pela lei dos cossenos, pois G (módulo de W), $Rf1$ e $Rf2$ são conhecidos. O ângulo α é calculado pelo produto escalar entre W e Q , com método similar aquele descrito pela Eq. (2). Por conseguinte, β é encontrado subtraindo-se α de γ .

O vetor M é calculado tal como na interseção reta-arco, ou seja, pela rotação de Q de um ângulo β . Como os arcos são secantes, existem dois pontos de interseção. Dessa forma, o segundo ponto é obtido girando W no valor de $-\beta$. O ponto de interseção mais próximo da interseção inicial ($iT1$) será considerado como solução. Para ambos os valores de β , $iT2$ é determinado substituindo W por M na Eq. (5).

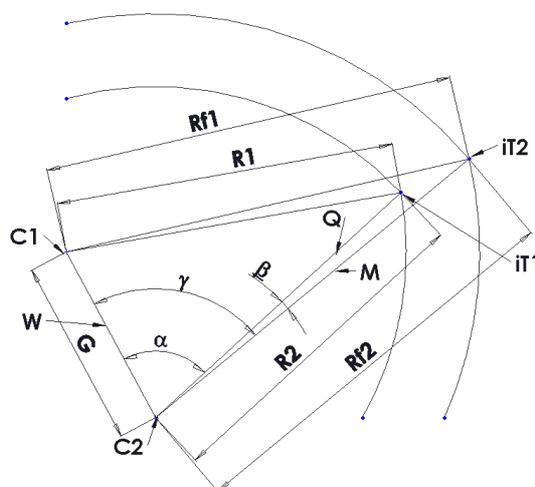


Figura 6. Interseção arco-arco

Apesar de o teste de tangência ser uma condição necessária para se validar a correção do raio de corte para os vértices côncavos formados entre reta-arco e arco-arco, ele não é suficiente. A Figura (7) contém dois exemplos de reta-arco e arco-reta tangentes, porém o vértice côncavo não poderá ser executado, obviamente por uma restrição física. Nestes casos, um teste complementar deve ser feito. Para o caso da interseção reta-arco, o vértice será válido se e somente se o ângulo formado entre os segmentos $P1-P2$ e $P2-P3$ for maior que 90° . No caso da interseção arco-arco, o vértice será válido somente se os dois arcos tiverem sentidos opostos.

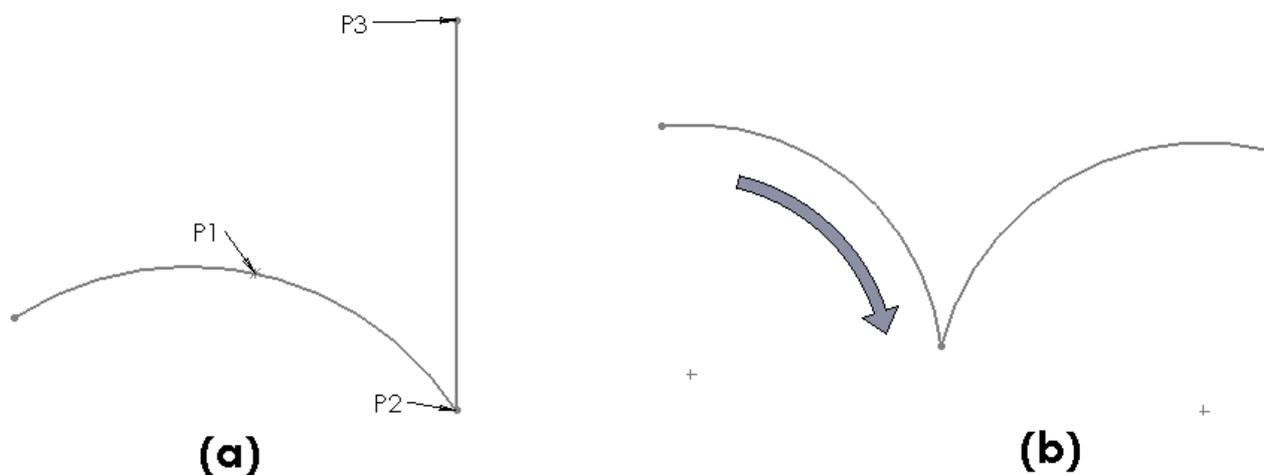


Figura 7. Exemplos de vértices inválidos. (a) interseção reta-arco e (b) dois arcos.

3. IMPLEMENTAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um protótipo computacional, baseado na metodologia proposta, foi implementado em MS-Visual Basic. Em seu estágio atual, este protótipo possibilita a abertura de um arquivo com extensão “.dxf” em um caminho e pasta escolhidos pelo usuário. Após a seleção do arquivo, as entidades básicas reta, arco e círculo são filtradas; os contornos são extraídos, classificados e desenhados para fins de visualização. A partir desse ponto o usuário determina o valor da sangria e solicita a geração do programa com correção do raio de corte. Esta é realizada automaticamente, apresentada graficamente e na forma de código para programação CN, segundo o padrão EIA 274D. Esse código gerado poderá ser gravado na forma de um arquivo de texto sequencial, em pasta e caminho indicados, e depois transferido para a máquina.

Apesar das restrições impostas, tais como a leitura de arquivos na escala 1:1; contornos fechados; e seção “ENTITIES” apenas com elementos geométricos, os testes realizados possibilitaram avaliar a metodologia e o protótipo implementado em diferentes combinações de formas e quantidades de contornos. A Fig. (8) contém uma imagem da tela do protótipo após a correção do raio de corte e geração da trajetória para uma peça composta de, além do contorno externo, seis internos. Pode-se observar na imagem que as linhas cheias (azul) limitam o contorno acabado e aquelas tracejadas (vermelho) correspondem à trajetória de corte.

Os contornos com vértices inválidos, isto é, côncavos formados por duas retas; reta-arco e dois arcos secantes, mais os casos de tangência descritos na Fig. (7), são identificados automaticamente e indicados no desenho. Isto propicia ao usuário retornar ao seu editor e corrigi-los inserindo um arco de concordância. A Fig. (9) contém outra imagem da tela do protótipo mostrando uma situação de contornos com vértices inválidos, destacados por círculos cheios.

No caso de vértices côncavos formados por interseção de duas retas, por exemplo, o seu ajuste (ou offset) pode ser determinado, tal como demonstrado por Liu, et al. 2007. Entretanto, a sangria resultante do corte produzirá um arredondamento desses vértices. Quanto maior for a largura da sangria maior será essa “deformação”, o que em alguns casos implicará em refugo da peça. Dessa forma, a detecção de vértices inválidos funciona aqui como uma prevenção, ao invés de uma imposição puramente geométrica.

A restrição imposta aos contornos abertos é, também, de ordem prática, pois contornos internos seriam limitados pela largura da sangria. Todavia, os externos podem ocorrer com maior frequência, como por exemplo, no caso da separação de chapas, ou quando um trecho reto da peça coincidir com uma lateral da chapa. Apesar da extração e correção do raio de corte estarem limitadas aos contornos fechados, a visualização e identificação dos contornos abertos foram contempladas na implementação atual. Isto possibilitará ao usuário efetuar as correções devidas, nos casos de erros eventuais de construção ou transferência de dados.

Entretanto, a metodologia desenvolvida poderá falhar ao executar a correção do raio de corte, pois durante a etapa de extração, um único contorno aberto pode-se fragmentar e conduzir à geração de múltiplos contornos abertos. Essa fragmentação é determinada pela posição do primeiro e do último elemento geométrico no arquivo. Ela somente será eficaz se suas posições coincidirem, isto é, forem as mesmas tanto no arquivo quanto no contorno.

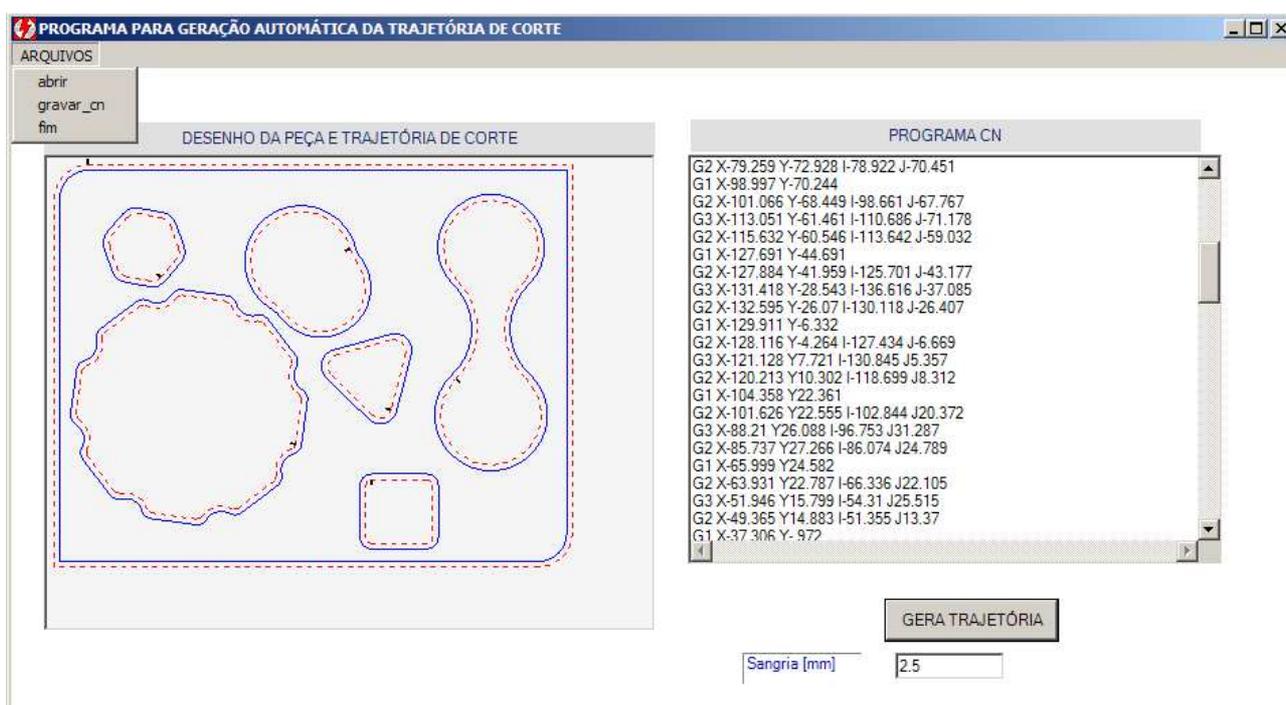


Figura 8. Tela principal do protótipo desenvolvido

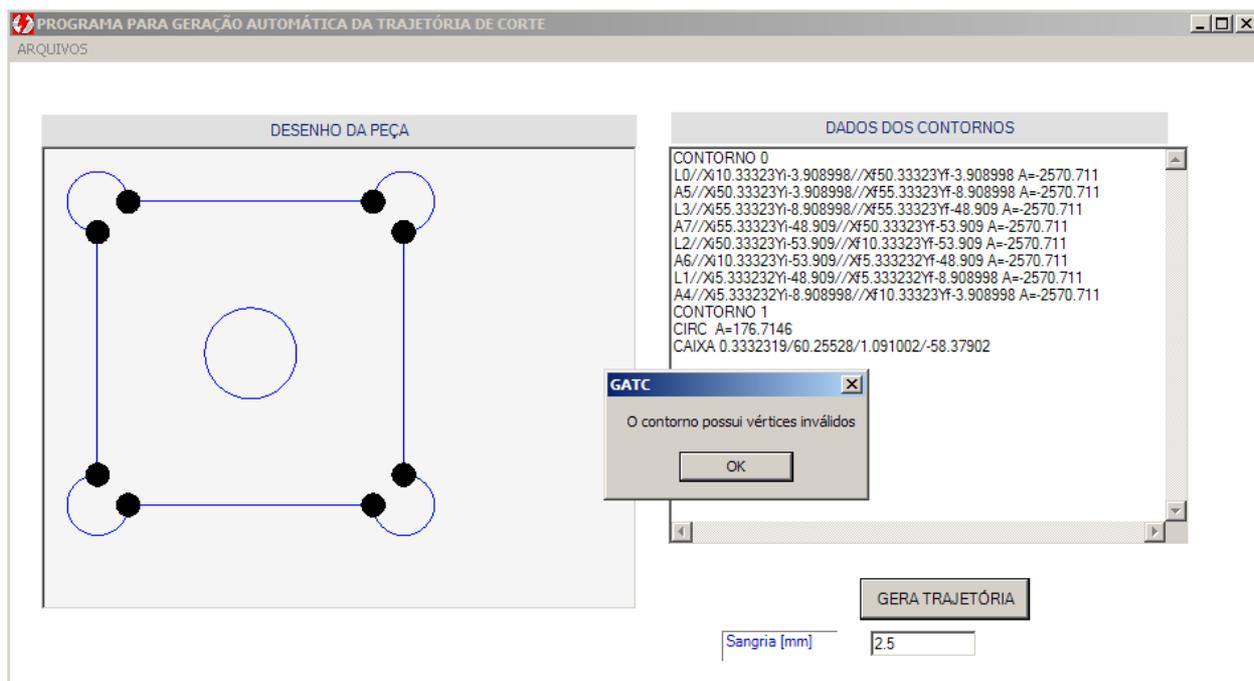


Figura 9. Detecção de vértices inválidos

4. CONCLUSÃO

Apesar da não realização de testes práticos e das restrições impostas, o objetivo proposto neste trabalho — *uma metodologia para geração automática da trajetória de corte a partir dos dados geométricos da peça* — foi alcançado. O protótipo implementado pode, além da geração da trajetória para os contornos válidos, identificar condições anômalas decorrentes de contornos abertos e/ou aqueles com vértices inválidos. Além disso, as trajetórias calculadas podem ser facilmente codificadas segundo os padrões internacionais para programação, tais como ISO ou EIA 274D. Apesar de ser apenas o primeiro passo, os resultados obtidos permitem vislumbrar a possibilidade de criação de um software de baixo custo para a automação do corte de chapas.

5. REFERÊNCIAS

- Autodesk, 2010. DXF Reference. Disponível em: http://images.autodesk.com/adsk/files/acad_dxf1.pdf. Acesso em 3/08/2010.
- Bini R. et al. Experimental study of the features of the kerf generated by a 200 A high tolerance plasma arc cutting system, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 196, Issues 1-3, 21 January 2008, Pages 345-355.
- Da Costa, D. D. e Volpato, N. Técnica de fatiamento baixa o custo da usinagem de algumas formas complexas. *Máquinas e Metais*, v. 507, p. 126-143, 2008.
- Da Silva, A.G.C. Desenvolvimento de um ambiente computacional cad/capp/cam orientado ao processo de corte oxiacetilênico. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2001.
- De Garmo, P.E et al. “Materials and Processes in Manufacturing”, Prentice Hall, New Jersey, USA, 8th edition.
- Yilbas, B.S. Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 201, Issues 1-3, Pages 285-290
- Jagirdar, R. et al. (1995) Feature recognition methodology for shearing operations for sheet metal components, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Volume 8, Issue 1, Pages 51-62
- Jegaraj, J.J. R and Babu, N. R. A strategy for efficient and quality cutting of materials with abrasive waterjets considering the variation in orifice and focusing nozzle diameter, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 45, Issues 12-13, Pages 1443-1450.
- Liu, X-Z et al. 2007 An offset algorithm for polyline curves, *Computers in Industry*, Volume 58, Issue 3, April 2007, Pages 240-254
- Lubell, J. et al. 2004, “STEP, XML, and UML: Complementary Technologies,” In: Proceedings of ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. 4: pp. 915–923.
- Venturi, J. Álgebra vetorial e geometria analítica. 9ª ed. Curitiba. Disponível em: <http://www.geometriaanalitica.com.br>. Acesso em 3/08/2010.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

AUTOMATIC CUTTING PATH GENERATION FROM DXF FILE FORMAT

Alessandro Marques, amarques@ufpr.br
Dalberto Dias da Costa, dalberto@ufpr.br
Tiago Marcelo Araujo dos Santos, tiago.ufpr@gmail.com

Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Mecânica – Curitiba – PR

***Abstract.** The NC (Numerical Control) has been used intensively for sheet cutting. It supports the production of two-dimensional contours with different processes, such as: plasma; laser and those based on air or water jets. The part model is stored and transferred according to a known format. Among the available formats, DXF (Drawing eXchange Format) is considered as a de facto standard, which contains the geometrical and complementary data, like line properties, layers and colors written in a sequential text file. However the topology, i.e. how the geometry is organized, is not informed. This absence of topology makes the drawing transferring a very difficult task. The main goal in this work is to present a methodology to compute the cutting trajectory starting from a DXF model. It is limited to the geometrical context and is structured in five steps: filtering geometrical entities; closed contour extraction; contour classification; contour offset for kerf compensation and NC code generation. The proposed methodology was implemented in MS Visual Basic .Net. Several tests were conducted with different geometric models. Despite of its limitations, the achieved results provide a basis for the development of a low cost software for sheet cutting.*

***Keywords:** NC programming, DXF, sheet cutting*

1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.