



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



Seleção de áreas preenchíveis na estratégia tabuleiro de xadrez em impressão 3D

Selection of fillable areas in chessboard strategy in 3D printing

João Victor Laskoski (orientado) *, Rodrigo Minetto (orientador) †, Neri Volpato ‡, Ricardo Dutra da Silva §

RESUMO

O processo de Manufatura Aditiva consiste na fabricação de modelos tridimensionais pela composição de sucessivas camadas de material. A tecnologia *Powder Bed Fusion* (PBF) é um subconjunto da manufatura aditiva e um importante método de fabricação de peças metálicas. Máquinas com a tecnologia PBF utilizam uma fonte de energia, como um feixe de laser ou elétrons, para fundir um pó metálico, permitindo assim a confecção de peças de metal. Este trabalho descreve um algoritmo que permite estabelecer rotas para o laser ou feixe de elétrons, seguindo um padrão de varredura conhecido como *Chessboard Scanning*. Para isso, a proposta visa reduzir o número de operações entre o padrão do tabuleiro de xadrez (quadrados não preenchíveis) e os modelos presentes para confecção com o auxílio do algoritmo *flood fill* e uma adaptação do algoritmo de Bresenham, para por fim estabelecer as rotas de preenchimento. O algoritmo foi testado e validado no *software Rapid Prototyping Process Planning* (RP3), conseguindo separar exatamente os quadrados necessários para realizar o preenchimento.

Palavras-chave: Algoritmo. Processos de fabricação. Leito metálico.

ABSTRACT

The Additive Manufacturing process consists on the fabrication of three-dimensional models by adding successive layers of material. Powder Bed Fusion (PBF) technology is a subset of additive manufacturing and an important method of manufacturing metal parts. Machines with PBF technology use an energy source such as a laser beam or electrons to melt a metallic powder, thus allowing the fabrication of metal parts. This work describes an algorithm that allows establishing routes for the laser or electron beam, following a scanning pattern known as Chessboard Scanning. For such goal, this proposal aims to reduce the number of operations between the chessboard pattern (unfillable squares) and the models present for making it with the aid of the flood fill algorithm and an adaptation of the Bresenham algorithm, to finally establish the filling routes. The algorithm was tested and validated in the Rapid Prototyping Process Planning (RP3) software, managing to separate exactly the squares needed to perform the filling.

Keywords: Algorithm. Manufacturing processes. Metallic bed.

* Curso de Engenharia de Computação; laskoski@alunos.utfpr.edu.br.

† DAINF; rminetto@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0003-2277-4632>.

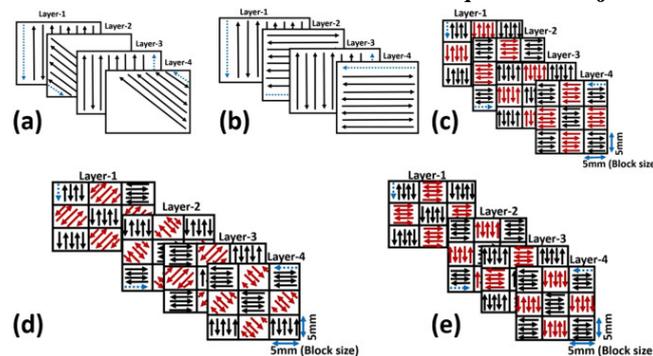
‡ DAMEC; nvolpato@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0003-1523-3977>.

§ DAINF; rdsilva@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-8002-8411>.

1 INTRODUÇÃO

No processo de manufatura aditiva (AM) por fusão em leito de pó metálico, um laser ou feixe de elétrons varre a superfície do pó provocando uma fusão das partículas do metal, e cria as peças consolidando as finas camadas umas às outras (VOLPATO, 2017). No entanto, a varredura pode seguir diferentes padrões das chamadas linhas de *raster*, que, conforme destacado por setas na Fig. 1, indicam possíveis trajetórias do feixe de laser ou de elétrons.

Figura 1 – Exemplo de tipos de varredura: alternando 45° entre camadas (a), alternando 90° entre camadas (b), varrendo como um tabuleiro de xadrez (c), varrendo como um tabuleiro de xadrez e alternando 45° entre quadrados adjacentes (d) e varrendo como um tabuleiro de xadrez e alternando 90° entre quadrados adjacentes (e)



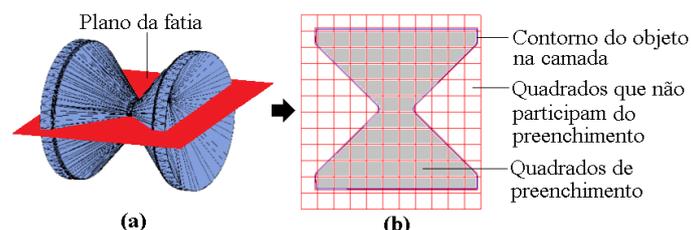
Fonte: ALI, GHADBEIGI, MUMTAZ (2017).

Um *software* de planejamento de AM é responsável por realizar o fatiamento dos modelos tridimensionais, dividindo-os em camadas contendo contornos fechados que devem ser preenchidos com material de acordo com o tipo de varredura.

A estratégia conhecida como tabuleiro de xadrez envolve a divisão da área de construção em pequenos blocos (ALI; GHADBEIGI; MUMTAZ, 2017), que neste artigo são referenciados como quadrados. É importante ressaltar que os quadrados do tabuleiro contêm tamanhos fixos definidos pelo usuário. A estratégia do tabuleiro de xadrez é normalmente utilizada em fusão em leito de pó metálico com o intuito de reduzir as tensões superficiais, que tendem a ser maiores quanto maior forem as linhas de *raster*, o que pode causar danos às peças.

As Fig. 1 (c), Fig. 1 (d) e Fig. 1 (e) indicam esquemas de varredura do tipo tabuleiro de xadrez, diferindo apenas na orientação das linhas de *raster*. Os quadrados com alguma interseção com os polígonos, fechados referentes a um objeto, devem ser preenchidos. O exemplo da Fig. 2 (a) ilustra a intersecção de um plano com uma peça, cujo resultado representa uma camada do objeto. O resultado da intersecção da Fig. 2 (a) está representado na Fig. 2 (b), com o contorno fechado do objeto destacado. Além disso, a Fig. 2 (b) ilustra as regiões do tabuleiro que participam ou não do preenchimento.

Figura 2 – Modelo 3D de uma ampulheta com uma fatia destacada por um plano (a) e a fatia destacada vista separadamente (b).



Fonte: Autoria própria (2021).

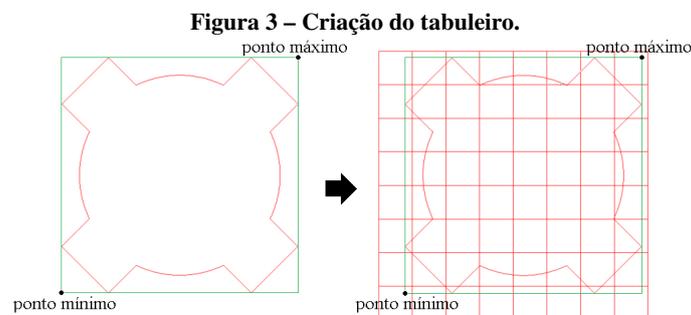
Neste trabalho os quadrados foram classificados basicamente em dois tipos: quadrados de preenchimento (contém interseção com algum contorno fechado ou não possuem interseção com o contorno, mas se localizam no interior da área delimitada pelo contorno) e quadrados que não participam do preenchimento, que são os quadrados externos aos contornos.

O objetivo deste estudo é desenvolver um algoritmo que forneça sempre a menor quantidade possível de quadrados em cada camada para a construção do tabuleiro (dado o tamanho do quadrado informado pelo usuário), além de selecionar somente quadrados de preenchimento, evitando assim a realização de cálculos desnecessários referente aos quadrados que não participam do preenchimento no cálculo das linhas de *raster*. Ou seja, dado um tabuleiro, o algoritmo fornece exatamente os quadrados necessários para o cálculo das linhas de *raster*.

2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

A implementação do algoritmo proposto foi feita utilizando o *software Rapid Prototyping Process Planning* (RP3), do Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

No RP3, cada contorno fechado referente a uma camada de um objeto corresponde a um conjunto de pontos ordenados e ligados entre si. Portanto, para gerar o menor tabuleiro possível para uma camada que contém um conjunto de contornos, é necessário obter a informação dos pontos das extremidades, que delimitam a área do tabuleiro. Para isso, é necessário um pré-processamento, que verifica cada ponto dos contornos e identifica um retângulo que envolve os contornos com base em coordenadas localizadas nas extremidades. A *Figura 3* ilustra a relação desses pontos com uma camada de um objeto e a geração do tabuleiro.



Fonte: Autoria própria (2021).

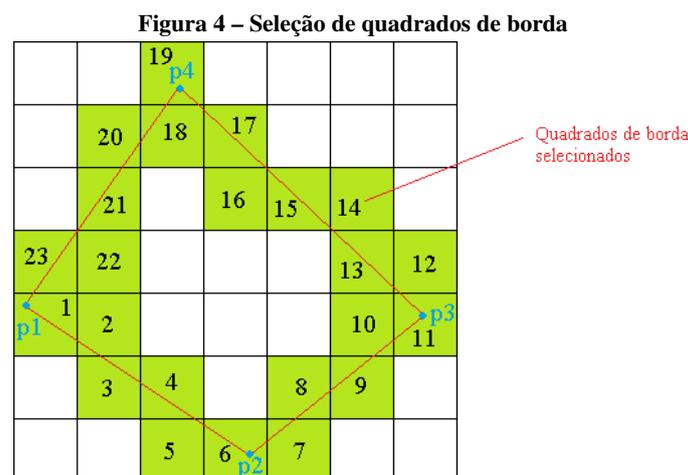
Os pontos mínimo e máximo ilustrados na *Fig. 3* definem a área mínima para a geração do tabuleiro. No entanto, como os quadrados do tabuleiro contém um tamanho fixo, definido pelo usuário, pode ocorrer do tabuleiro não cobrir exatamente a geometria, contendo assim alguns excessos, o que não prejudica o funcionamento. Além disso, é importante ressaltar que por questões técnicas um tabuleiro de uma determinada camada deve ter relação com os tabuleiros vizinhos, ou seja, das camadas inferior e superior. Isso significa que os quadrados de um tabuleiro devem estar alinhados com os quadrados dos tabuleiros vizinhos, e por esse motivo o início do tabuleiro pode não coincidir com o ponto mínimo, como o exemplo da *Fig. 3* mostra.

Para a seleção dos quadrados que participam do preenchimento, o algoritmo pode ser dividido em duas partes: primeiramente é necessário selecionar os quadrados com interseção com contornos, e a partir deles é possível encontrar os quadrados internos aos contornos.

A primeira parte é responsável por selecionar os quadrados do tabuleiro com interseção com contornos

(quadrados de borda), portanto é necessário percorrer a lista de pontos que compõem um contorno, selecionando os quadrados interseccionados. Por estar ordenada, cada par consecutivo da lista de pontos descreve um segmento de reta do contorno, que por sua vez intersecciona quadrados do tabuleiro, que são os quadrados de borda do objeto. Logo, para selecionar os quadrados com interseção com algum segmento de reta, é utilizada uma adaptação do algoritmo de Bresenham (BRESENHAM, 1965), onde a adaptação é capaz de selecionar quadrados de uma malha de quadrados por onde passa um segmento de reta definido por dois pontos da malha. É necessário uma adaptação, pois no algoritmo de Bresenham é considerado que os pontos que delimitam o segmento de reta se encontram em pontos fixos dos quadrados da malha, enquanto isso não ocorre necessariamente nos pontos dos contornos, que podem se localizar em qualquer região dos quadrados. Além disso, o uso do algoritmo de Bresenham não selecionaria exatamente os quadrados que possuem interseção com o segmento de reta, mas sim os quadrados que melhor representam o segmento de reta. Portanto, a cada dois pontos consecutivos de um contorno é aplicado o algoritmo adaptado, que seleciona o conjunto de quadrados.

Como os contornos são fechados e seus pontos ordenados, conseqüentemente a lista de quadrados selecionados será fechada e ordenada de acordo com o contorno. A Figura 4 ilustra a seleção dos quadrados de borda de acordo com a ordem dos pontos do contorno, onde é possível observar que os quadrados selecionados contém algum trecho do contorno no interior.

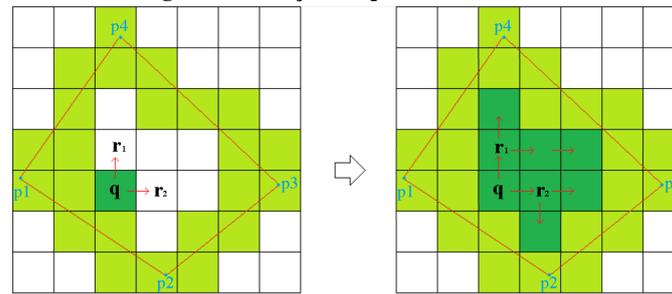


Fonte: Autoria própria (2021).

Dado os quadrados de borda, é possível determinar os quadrados internos dos contornos com o uso do algoritmo de preenchimento por inundação (bastante conhecido pelo seu nome em inglês *flood fill*), que é usado na Computação Gráfica para percorrer (inundar) os pixels internos de uma área delimitada (DOS SANTOS; ARTERO, 2011). Com base na lista de quadrados de borda, é possível selecionar algum quadrado interno com o intuito de aplicar o algoritmo *flood fill*, isso porque a seleção dos quadrados de borda foi feita seguindo a ordem dos pontos de contorno, tornando possível encontrar quadrados internos ao contorno fechado verificando a cada dois quadrados de borda consecutivos, os quadrados à esquerda. Por exemplo, na Fig. 4 a sequência dos quadrados 2-3 possui um quadrado interno à esquerda, que é destacado pela Fig. 5 como 'q'. Assim, com base nesse quadrado interno, o algoritmo *flood fill* expande para quadrados internos vizinhos, selecionando recursivamente todos os quadrados internos ao contorno. A lógica da seleção dos quadrados internos está ilustrada na Fig. 5 com o auxílio de um pseudocódigo do algoritmo de preenchimento por inundação.

Ao final do uso dos algoritmos citados, todos os quadrados necessários para realizar o padrão de varredura

Figura 5 – Seleção de quadrados internos



```
floodFill(Quadrado q)
//q é um quadrado interno
1. Marca q como quadrado interno.
2. Se existir algum vizinho r de q não marcado:
3. floodFill(r)
```

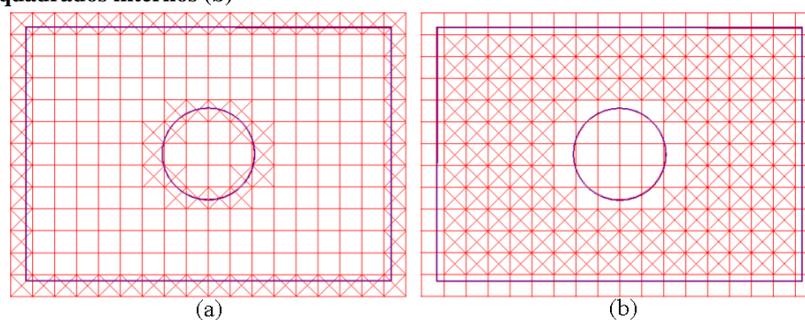
Fonte: Autoria própria (2021).

do laser ou feixe de elétrons serão selecionados.

3 RESULTADOS

Através de algumas adaptações no RP3, foi possível realizar os testes necessários para certificar o funcionamento do algoritmo. A Figura 6 é relativa a uma camada do modelo 3D de uma chapa com um furo no centro. A Figura 6 (a) demonstra o resultado da aplicação do algoritmo adaptado de Bresenham, onde os quadrados marcados com 'x' são os quadrados de borda. Por outro lado, a Fig. 6 (b) demonstra o resultado da aplicação do algoritmo de preenchimento por inundação, onde os quadrados marcados com 'x' são os quadrados internos.

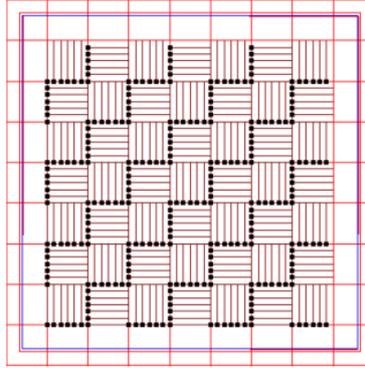
Figura 6 – Seleção de quadrados de uma camada do modelo 3D de uma chapa furada: Seleção dos quadrados de borda (a) e seleção dos quadrados internos (b)



Fonte: Autoria própria (2021).

Através dos quadrados selecionados pelo algoritmo desenvolvido, é possível finalmente adicionar o padrão de rotas que o laser ou feixe de elétrons deve seguir dentro dos quadrados. A Figura 7 apresenta uma camada de um cubo e somente os seus quadrados internos com um padrão de linhas de *raster*, onde os pontos indicam o início da linha de *raster*.

Figura 7 – Linhas de *raster* em quadrados internos de uma camada do modelo 3D de um cubo



Fonte: A autoria própria (2021).

4 CONCLUSÕES

O algoritmo implementado selecionou corretamente os quadrados do tabuleiro necessários para realizar cálculos de preenchimento de *raster* de forma eficiente, como mostra a Fig. 6 (a) (quadrados de borda) e Fig. 6 (b) (quadrados internos), sendo possível gerar as linhas de *raster*, como mostra a Fig. 7. O algoritmo provê uma boa ferramenta para manipulação de diferentes quadrados do padrão do tabuleiro de xadrez (quadrados de borda, internos e que não participam do preenchimento), podendo ser utilizado em futuras implementações relacionadas à estratégia do tabuleiro de xadrez no RP3, como por exemplo, em uma implementação cuja ordem de visitação dos quadrados na construção das linhas de *raster* é aleatória.

Ademais, uma nova estratégia de preenchimento utilizando a estratégia do tabuleiro de xadrez que considera uma ordem de visitação dos quadrados selecionados mais eficiente está em desenvolvimento e já apresenta resultados promissores, podendo em um futuro próximo substituir em definitivo a atual estratégia no RP3.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida. Deve-se agradecimento especial também aos professores Rodrigo Minetto, Neri Volpato e Ricardo Dutra da Silva pelo auxílio durante a realização das atividades.

REFERÊNCIAS

- ALI, Haider; GHADBEIGI, Hassan; MUMTAZ, Kamran. **Effect of scanning strategies on residual stress and mechanical properties of Selective Laser Melted Ti6Al4V**. Amsterdã: Elsevier, 2017.
- BRESENHAM, Jack. **Algorithm for computer control of a digital plotter**. Riverton: IBM Systems Journal, 1965.
- DOS SANTOS, Breno; ARTERO, Almir. **EFEITOS ESPECIAIS EM COMPUTAÇÃO GRÁFICA – MORPHING**. Presidente Prudente: Colloquium Exactarum, 2011.
- VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017.