

DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE POLÍGONOS EM UM PLANO BIDIMENSIONAL UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Rodrigo D'avila

Daniel Theisges dos Santos - Orientador

1 INTRODUÇÃO

Um problema frequente na manufatura de peças de roupa, tecido, couro, até metal e madeira é o problema de corte de peças em formato irregular (BRANDT, 2011). Também conhecido como distribuição otimizada de polígonos em um plano bidimensional, esse problema tem por objetivo agrupar os polígonos visando ocupar o menor espaço possível para maximizar a utilização do material, evitando desta forma o desperdício (BRANDT, 2011; LIU; HE, 2006; JUNIOR; PINHEIRO; SARAIVA, 2013).

A natureza dessa tarefa de arranje otimizado trata-se de um problema NP-Difícil, sendo assim, acredita-se não haver uma resposta determinística em um tempo polinomial (LIU; HE, 2006; JUNIOR; PINHEIRO; SARAIVA, 2013). Contudo, este problema pode ser separado em dois passos distintos: o primeiro se refere a estratégia de encaixe, onde é utilizado um algoritmo geométrico para posicionar as peças no plano; o segundo trata a ordem de disposição, onde procura-se uma ordem que permita que o encaixe maximize a utilização da área de arranje (HAIMING et al., 2015).

Para realização do encaixe dos polígonos, dado a sua forma irregular, uma estratégia comumente usada da literatura é a utilização do algoritmo de *No-Fit-Polygon* (NFP). Esse algoritmo utiliza a natureza geométrica dos polígonos para realizar a rotação e a translação dos vértices do objeto utilizando um ponto de âncora, de forma a evitar a sobreposição e respeitar as dimensões definidas pelo recipiente (MUNDIM; QUEIROZ, 2012). A estratégia de escolha do ponto de âncora amplamente utilizado é a escolha do ponto inferior esquerdo, conhecido como bottom-left.

Além da realização do encaixe, torna-se necessário aplicar um método heurístico para determinar a ordem em que as peças são dispostas. Existem implementações que aplicam técnicas de heurística local, como *Hill Climbing* e *Tabu Search* essas técnicas visam buscar soluções através da seleção de uma peça e a manipulação das suas peças vizinhas, a diferença entre as duas é que o *Hill Climbing* aplica somente a solução corrente e o *Tabu Search* procura manter um histórico de soluções geradas (BRANDT, 2011).

Além da aplicação destas técnicas para determinar a disposição das peças, técnicas de Algoritmos Genéticos (AG) são amplamente utilizadas através do operador de *Cross Over*. Diferente das técnicas utilizadas por (BRANDT, 2011) que são aplicadas somente a uma peça e seus vizinhos, o operador de *Cross Over* pode ser aplicado em todo o conjunto de peças permitindo assim alcançar uma melhor convergência, resultando em melhor

ocupação de matéria-prima (LIU; HE, 2006).

Por esse motivo, o objetivo desse trabalho é desenvolver um programa capaz retornar uma solução completa para o problema de disposição de formas irregulares em uma superfície plana bidimensional, utilizando a técnica de encaixe NFP com ponto de ancora *bottom-left*. Além de prever a disposição das peças utilizando AG com o operador de *Cross Over*.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é implementar um software que seja capaz retornar uma solução completa para o problema de disposição de formas irregulares em uma superfície plana bidimensional. Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) implementar o algoritmo NFP com disposição *bottom-left* para o encaixe dos polígonos;
- b) implementar o algoritmo genético com operador de *Cross Over* para a ordem de disposição dos polígonos;
- c) integrar os algoritmos (a) e (b) em uma aplicação que tenha como entrada um arquivo *Scalable Vector Graphics* (SVG), contendo os vértices dos polígonos e como saída outro arquivo SVG com uma solução completa.

2 TRABALHOS CORRELATOS

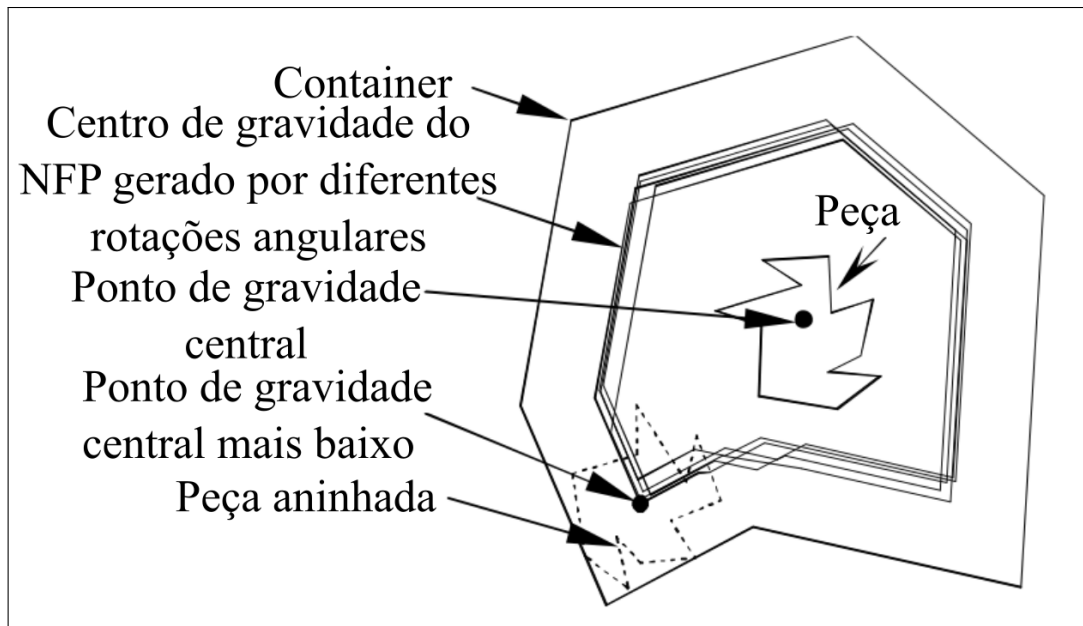
Nesta seção serão apresentados três trabalhos correlatos. Na seção 2.1 será abordado o artigo de Liu e He (2006). Seguido da Seção 2.2 onde é abordado o trabalho de Junior, Pinheiro e Saraiva (2013), por fim na seção 2.3 é abordado o trabalho de Brandt (2011).

2.1 RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF IRREGULAR-SHAPED NESTING PROBLEM

O objetivo de Liu e He (2006) é apresentar uma nova solução para o problema de disposição de polígonos irregulares em um plano de duas dimensões baseado no algoritmo de NFP. Sua proposta visou substituir o princípio de disposição das peças *bottom-left* largamente adotado, pelo princípio de ponto de gravidade mais baixo.

Nesse princípio, o posicionamento da peça é escolhido com base no ponto de menor gravidade. O ponto de menor gravidade é calculado utilizando o método de divisão de triângulos seguido de sucessivas rotações da peça. A execução do algoritmo de NFP baseado em ponto de menor gravidade pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Execução do algoritmo de NFP com ponto de gravidade mais baixo



Fonte: [Liu e He \(2006\)](#)

Para determinar a sequência de disposição das peças, o autor utilizou AG com operador de *Cross Over*. O operador de *Cross Over* remove partes randômicas de dois conjuntos de peças, conhecidos como pais, e realiza a cópia dos elementos selecionados para seus filhos. Os resultados obtidos por [Liu e He \(2006\)](#) mostraram uma ocupação de 84.9% de matéria prima em comparação com a ocupação de 77.4% do trabalho realizado por [Jakobs \(1996\)](#). Os autores apontam sua solução como competitiva em termos de resultado obtidos da utilização da área de matéria-prima e do tempo de execução.

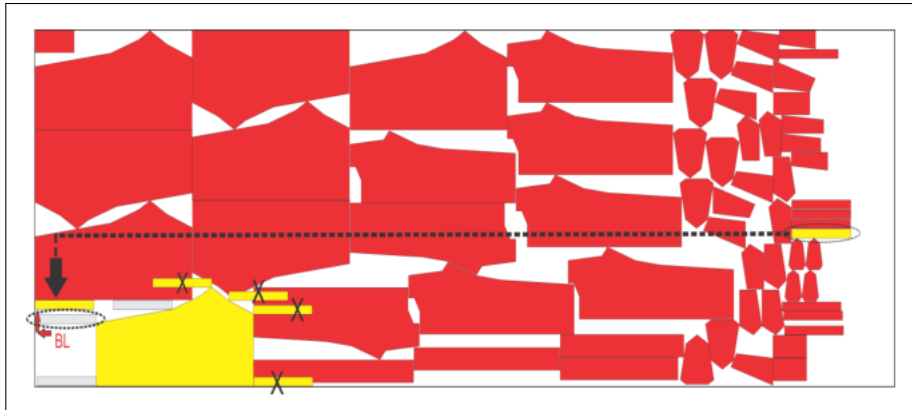
2.2 TACKLING THE IRREGULAR STRIP PACKING PROBLEM BY HYBRIDIZING GENETIC ALGORITHM AND BOTTOM-LEFT HEURISTIC

No trabalho realizado por [Junior, Pinheiro e Saraiva \(2013\)](#) é proposto a utilização do algoritmo de NFP com disposição *bottom-left* para o agrupamento de peças com formatos irregulares em conjunto com retangulares, o algoritmo NFP foi utilizado em conjunto com um algoritmo genético.

Os autores apontaram sua técnica como sendo uma solução híbrida, já que integrou as técnicas de NFP com a disposição *bottom-left* utilizando AG. Além dessas técnicas descritas, os autores utilizam um passo chamado de encolhimento, que visa utilizar o espaço livre entre as peças para adicionar os polígonos retangulares localizados no lado direito mais afastado. A técnica de encolhimento pode ser visualizada na Figura 2.

Foram realizados testes com cinco conjuntos de dados obtidos no site da *European*

Figura 2 – Técnica de encolhimento



Fonte: Junior, Pinheiro e Saraiva (2013)

Working Group in Cutting and Packing (ESICUP, 2016), o trabalho é comparado com quatro outras técnicas, SAHA, BLF, 2DNest e BS em cinco conjuntos de dados diferentes. Os resultados obtidos da porcentagem de ocupação da matéria-prima por Junior, Pinheiro e Saraiva (2013) podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos por Junior, Pinheiro e Saraiva (2013)

| Data Set | SAHA | BLF | 2DNest | BS | HM |
|----------|--------|-------|--------------|--------------|---------------|
| DIGHE1 | 100.00 | 77.40 | 99.86 | 100.00 | 100.00 |
| DIGHE2 | 100.00 | 79.40 | 99.95 | 100.00 | 100.00 |
| JAKOBS1 | 78.89 | 82.60 | 89.07 | 85.96 | 80.22 |
| JAKOBS2 | 77.28 | 74.80 | 80.41 | 80.40 | 73.92 |
| TROUSERS | 89.96 | 88.50 | 89.84 | 90.38 | 88.74 |

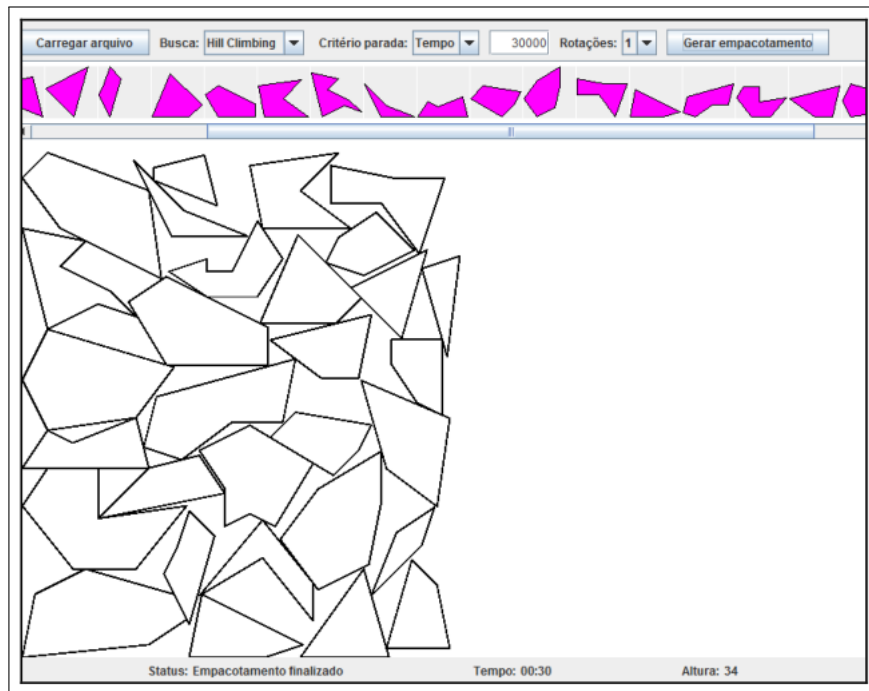
Fonte: Junior, Pinheiro e Saraiva (2013)

2.3 DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE POLÍGONOS EM UM PLANO BIDI-MENSIONAL

Em Brandt (2011) é proposto o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de posicionar polígonos em duas dimensões irregulares em um tempo aceitável, com a possibilidade de visualizar todo o processo de posicionamento. Da mesma forma que Liu e He (2006) e Junior, Pinheiro e Saraiva (2013) é utilizado o algoritmo de NFP, no entanto não é utilizado AG. São utilizadas duas técnicas de heurística local, *Hill Climbing* e *Tabu Search*. A interface da ferramenta desenvolvida por Brandt (2011) pode ser vista na Figura 3.

O trabalho de Brandt (2011) compara somente a técnica de *Hill Climbing* com a de *Tabu Search* não havendo comparação com nenhum autor externo. Conforme nos resultados apresentados a técnica de *Tabu Search* se mostraram superior ao *Hill Climbing*,

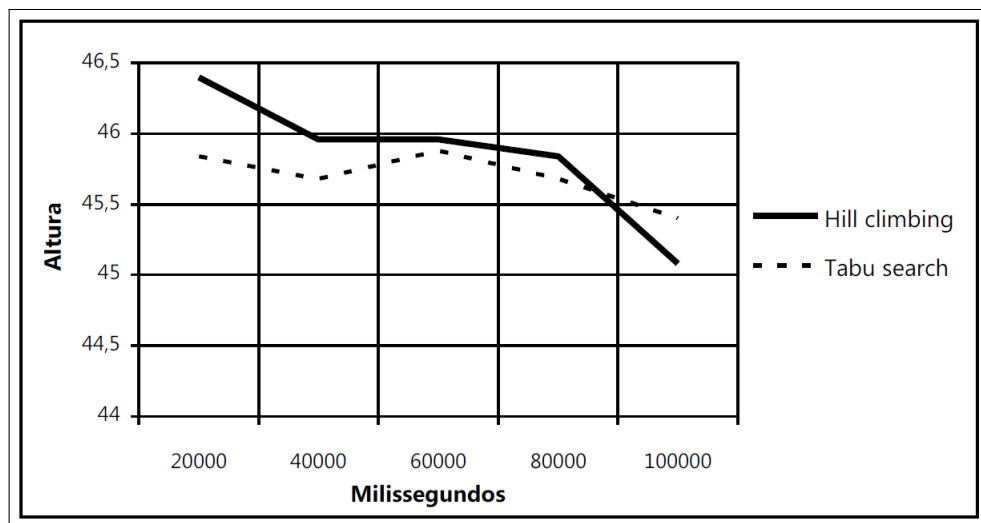
Figura 3 – Interface da ferramenta desenvolvida por Brandt (2011)



Fonte: Brandt (2011)

alcançando uma altura menor no mesmo para o mesmo tempo de execução na maioria dos testes realizados, contudo, com um tempo de execução de aproximadamente 80000 milissegundos o *Hill Climbing* se mostra superior, como pode ser visualizado no gráfico da Figura 4.

Figura 4 – Gráfico com a altura resultante do empacotamento usando *Hill Climbing* e *Tabu Search*



Fonte: Brandt (2011)

3 PROPOSTA DO SOFTWARE

A seguir é apresentado a justificativa para a implementação deste trabalho, bem como seus requisitos funcionais e não funcionais, a metodologia que será adotada, o cronograma que será realizado e por fim as fontes bibliográficas.

3.1 JUSTIFICATIVA

Na Tabela 2 apresenta a comparação entre os trabalhos correlatos e a implementação proposta por este trabalho. Na primeira coluna são listadas as principais funcionalidades observadas em todos os trabalhos. As três colunas após as funcionalidades, demonstram as técnicas apresentadas em cada trabalho correlato. Seguindo da coluna final onde é possível visualizar as propostas deste trabalho.

Tabela 2 – Comparação dos trabalhos

| Funcionalidades | Liu | Junior | Brandt |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---|
| Estratégia de encaixe | NFP <i>low-gravity-center</i> | NFP <i>bottom-left</i> | NFP <i>bottom-left</i> |
| Ordem de disposição | AG, <i>Cross Over</i> | AG, <i>Cross Over</i> | <i>Hill Climbing</i> , <i>Tabu Search</i> |
| Técnica adicional | Mutação | Mutação, encolhimento | - |
| Interface gráfica | - | - | Sim |
| Alteração manual | - | - | Sim |

Fonte: Elaborado pelo autor

O trabalho proposto por Liu e He (2006) se assemelha ao trabalho proposto em dois aspectos, a utilização do algoritmo de NFP e a utilização de AG. No entanto, o trabalho proposto visa utilização a disposição das peças em *bottom-left*, já o trabalho de Liu e He (2006) utiliza a técnica de ponto de gravidade mais baixo. As mesmas técnicas são utilizadas por Junior, Pinheiro e Saraiva (2013) e Liu e He (2006) com exceção da técnica de encolhimento. Isso se deve pois, no trabalho proposto serão exploradas de forma mais aprofundada as funções genéticas de *fitness* e de mutação.

Em Brandt (2011), foi utilizado o algoritmo de NFP com disposição *bottom-left* da mesma forma que o trabalho proposto visa implementar. Contudo, Brandt (2011) utiliza os algoritmos de *Hill Climbing* e *Tabu Search* para a ordem de disposição das peças, já o trabalho proposto visa utilizar os algoritmos genéticos com operador *Cross Over*.

Como justificativa tecnológica, apesar da distribuição otimizada de polígonos em um plano bidimensional se tratar de um problema já estudado largamente e com uma grande quantidade de aplicações dentro do cenário indústria de manufatura (VASANTHA et al., 2015), ele é um problema NP-Difícil onde não existe uma solução ótima (JUNIOR; PINHEIRO; SARAIVA, 2013), por este motivo, ainda existe espaço para inovação dentro deste problema.

3.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

- a) disponibilizar parâmetros de linha de comando para interação com o programa (Requisito Funcional – RF);
- b) realizar a disposição dos polígonos em um retângulo informado pelo usuário (RF);
- c) exibir informações sobre porcentagem de matéria prima utilizada e tempo decorrido para efetuar o encaixe dos polígonos (RF);
- d) não sobrepor os polígonos e não permitir que os polígonos tenham partes fora do retângulo informado pelo usuário (RF);
- e) executar a técnica de NFP com a disposição utilizando AG com operador de *Cross Over* (RF);
- f) interface para visualização do processo de disposição das peças (RF);
- g) permitir a alteração manual da posição de uma peça após o resultado obtido pelo programa (RF);
- h) obter um resultado completo em um tempo menor que 30 minutos para uma quantidade menor que 20 peças (Requisito Não Funcional – RNF);
- i) ser desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++ (RNF);
- j) ser desenvolvido utilizando o ambiente *Visual Studio* para a programação (RNF).

3.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: realizar levantamento de bibliografia e trabalhos correlatos;
- b) elicitação dos requisitos: detalhar e reavaliar os requisitos, observando as necessidades levantadas durante a revisão bibliográfica;
- c) especificação de técnicas: especificar as técnicas que devem ser utilizados no trabalho através de uma *Proof of Concept*¹ (POC);
- d) implementação do AG: realizar a implementação dos algoritmos para realizar a disposição dos polígonos em uma superfície bidimensional utilizando a técnica de NFP *botton-left* e a AG com operador de *Cross Over*, na linguagem de programação C++;

¹ Em português prova de conceito, que geralmente refere-se ao desenvolvimento de uma ferramenta prática para provar a vulnerabilidade teórica de um sistema de informação.

- e) implementação da interface gráfica: realizar a implementação da interface gráfica, permitindo a visualização do processo e o ajuste das peças manualmente, utilizando o framework para interfaces gráficas QT²;
- f) testes: efetuar testes com os dados da (ESICUP, 2016).

As etapas serão realizadas conforme o cronograma descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação dos trabalhos

| etapas/quinzenas | 2016 | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|
| | fev. | | mar. | | abr. | | maio | | jun. | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| levantamento bibliográfico | | | | | | | | | | |
| elicitación dos requisitos | | | | | | | | | | |
| especificação de técnicas | | | | | | | | | | |
| implementação do AG | | | | | | | | | | |
| implementação da interface gráfica | | | | | | | | | | |
| testes | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados aspectos teóricos relacionados ao trabalho. A seção 4.1 expõe o funcionamento do algoritmo de NFP, seguido das subseções onde são abordados sua utilização com relação a polígonos convexos e não convexos. Já a seção 4.2 aborda o funcionamento dos algoritmos genéticos, sua fundamentação, seguido de seus operadores de *Cross Over*, mutação e função de *fitness*.

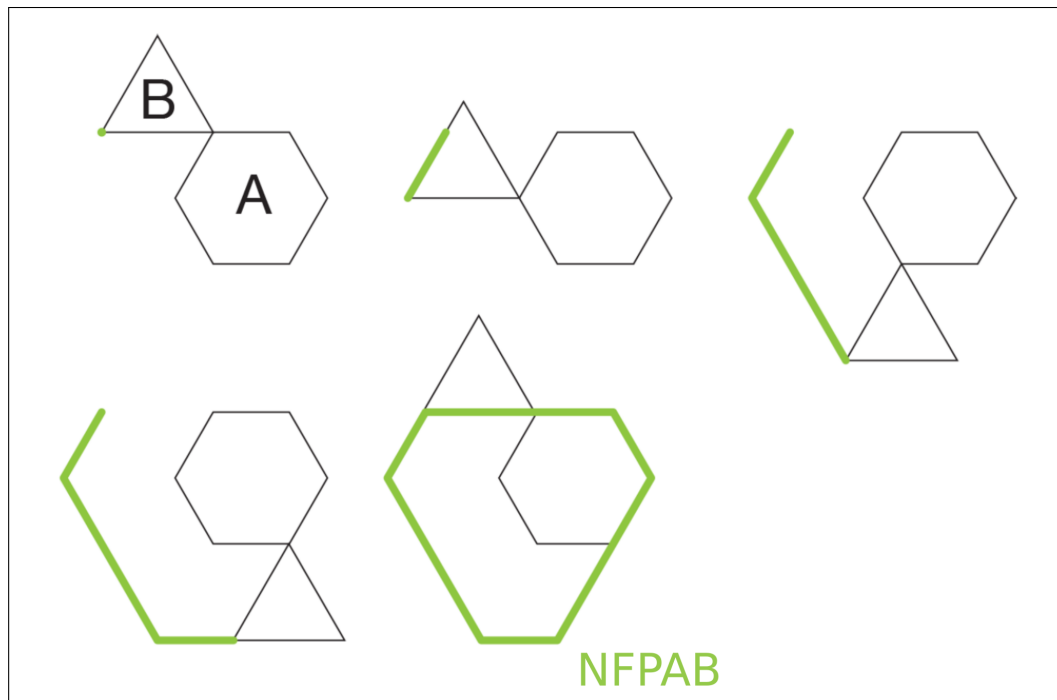
4.1 ALGORITMO DE NO-FIT POLYGON

O algoritmo de *No-Fit Polygon* (NFP) é um algoritmo geométrico no qual o objetivo é arranjar dois polígonos A e B de forma que fiquem próximos mas que não se sobreponham (KENDALL, 2000). Esse arranjo é obtido após a escolha de um ponto de referência em B e da orbitação do polígono B em torno dos vértices do polígono A que permanece estacionário. O resultado destas rotações gera um polígono que é chamado de *No-Fit Polygon AB* (NFPAB) ou polígono de não encaixe (BURKE et al., 2007). Na Figura 5 é possível ver o processo de orbitação do polígono B em A e o polígono NFPAB resultante.

Segundo Burke et al. (2007) após a obtenção do polígono NFPAB ocorrem três situações para verificar se o polígono A e B se sobrepõem, tocam ou não tocam um no outro:

² Framework disponível em <https://www.qt.io/developers/>

Figura 5 – Execução e resultado do algoritmo de NFP



Fonte: [SVGNest \(2016\)](#)

- a) se o ponto de referência de B está dentro do polígono NFPAB então B se sobrepõe em A (Figura 6a);
- b) se o ponto de referência de B está nos limites do NFPAB então o polígono B toca o polígono A em alguma parte (Figura 6b);
- c) se o ponto de referência está fora do NFPAB então A e B não se sobrepõem e não se tocam (Figura 6c).

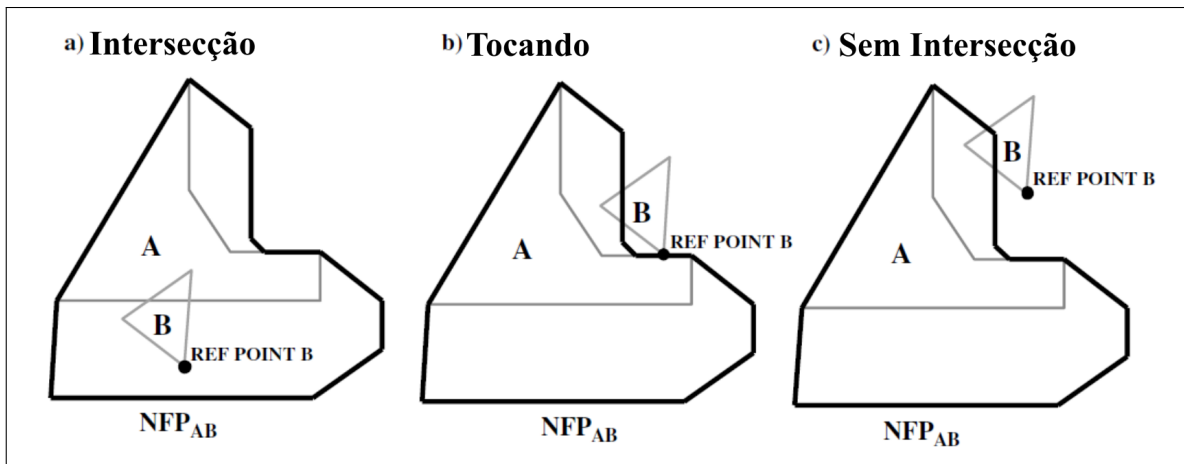
Segundo [Burke et al. \(2007\)](#) o algoritmo de NFP pode ser construído de duas formas distintas:

- a) para polígonos convexos no qual se trata da forma mais simples do algoritmo;
- b) também para polígonos não convexos no qual o algoritmo mais utilizado é o de *Orbital Sliding*.

4.1.1 DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE NFP PARA POLÍGONOS CONVEXOS

A forma básica do algoritmo de NFP é aplicada quando os dois polígonos A e B são convexos, assim com a execução de três passos é possível a obtenção do polígono NFPAB ([BURKE et al., 2007](#)). A Figura 7 apresenta os três passos realizados para a obtenção do polígono NFPAB utilizando a técnica para polígonos convexos:

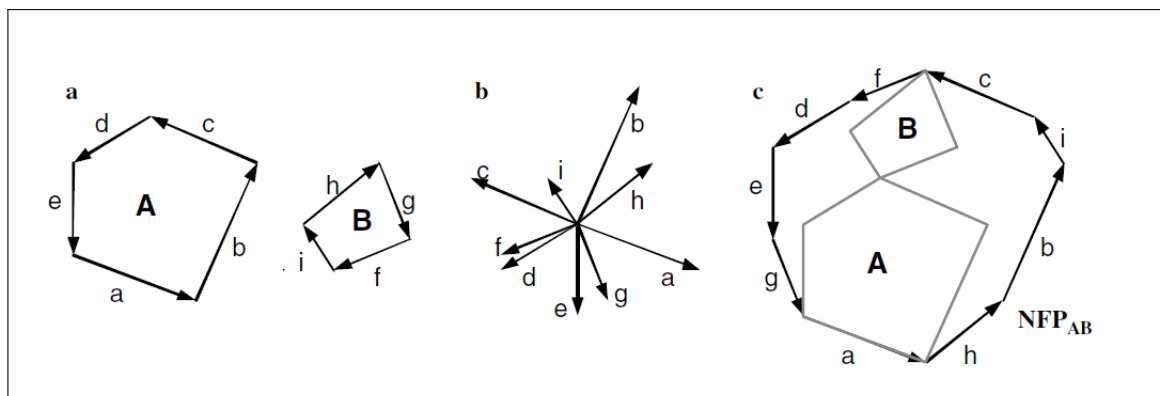
Figura 6 – Teste de sobreposição polígonos A e B



Fonte: [Burke et al. \(2007\)](#)

- realizar a orientação dos vértices do polígono A no sentido anti-horário e do polígono B em sentido horário (Figura 7a);
- fazer a translação de todos os vértices de A e B para um único ponto (Figura 7b);
- concatenar todos os vértices em sentido anti-horário para obtenção o polígono NFPAB (Figura 7c).

Figura 7 – Descrição do algoritmo NFP para polígonos convexos



Fonte: [Burke et al. \(2007\)](#)

4.1.2 DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE NFP PARA POLÍGONOS NÃO CONVEXOS

Uma das técnicas de NFP utilizada para polígonos não convexos é a técnica de *Orbital Sliding* (Figura 5), que envolve a utilização de funções trigonométricas para a realização da orbitação do polígono B em volta do polígono A ([BURKE et al., 2007](#)). Conforme [Burke et al. \(2007\)](#) essa técnica pode ser dividida em dois estágios:

- a) encontrar um vetor de translação e para isso é identificado as arestas que se tocam através de todas as rotações do polígono B em A;
- b) procurar posições iniciais nas quais permitem que um polígono toque no outro, mas não ocorra intersecção.

4.2 ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos (AG) fazem parte da computação evolucionária, que estuda o fenômeno da adaptação para a resolução de problemas no meio da mesma maneira que ocorre na natureza, e também trazer os mecanismos utilizados pela adaptação natural para sistemas computacionais (MITCHELL, 1998). Segundo Mitchell (1998), Algoritmos Genéticos trabalham métodos nos quais se movem populações de cromossomos utilizando-se de uma *seleção natural* para a geração de uma nova população, essa seleção natural utiliza operações genéticas como seleção, *Cross Over* mutação e função de *fitness*.

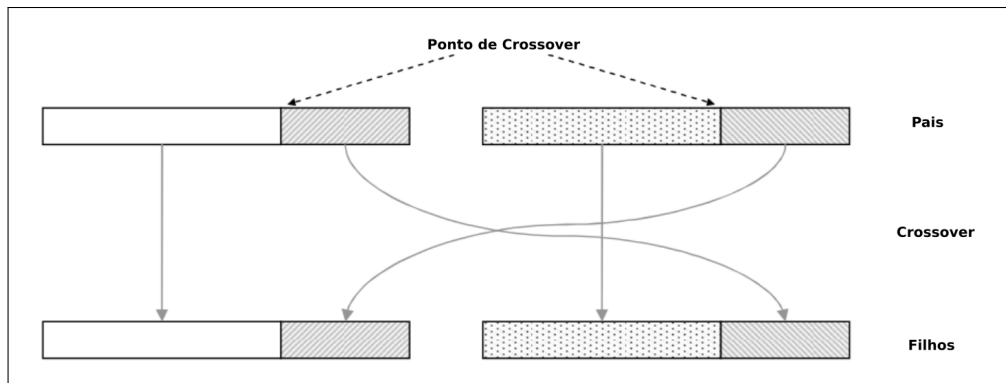
4.2.1 OPERAÇÃO DE SELEÇÃO

A seleção é um mecanismo utilizado para garantir que indivíduos com um valor de *fitness* elevado tenham chance de gerar novos indivíduos posteriores enquanto reduz a chance de indivíduos com *fitness* baixo (POPA, 2012). Uma das técnicas de seleção mais utilizadas segundo Sivanandam e Deepa (2007), é a técnica de seleção da roleta, onde é executada uma procura em torno dos valores da roleta que são os valores de *fitness* obtidos pelos indivíduos, um valor de procura é setado no qual é um valor randômico dentro da proporção da soma do valor de *fitness* de toda a população. São implementados os seguintes passos na técnica da roleta (SIVANANDAM; DEEPA, 2007):

- a) somar em T o valor total de *fitness* da população;
- b) repetir o processo N vezes tal que:
 - escolher um número randômico r entre 0 e T;
 - percorrer toda a população, somando os valores de *fitness* em uma variável s ;
 - continuar até que s seja maior ou igual à r ;
 - escolher o indivíduo que fez com que a soma em s fosse igual ou superior à r .

4.2.2 OPERAÇÃO DE CROSSOVER

O operador genético de *Cross Over* é responsável pela geração de novas populações através de população já existentes (KENDALL, 2000). Sua execução consiste em pegar dois indivíduos pais e transferir material genético entre os pais para a geração de novos indivíduos chamados de filhos, conforme pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Operação de *Cross Over*

Fonte: Affenzeller et al. (2009)

Conforme Affenzeller et al. (2009) a operação de *Cross Over* pode ser dividida em três tipos:

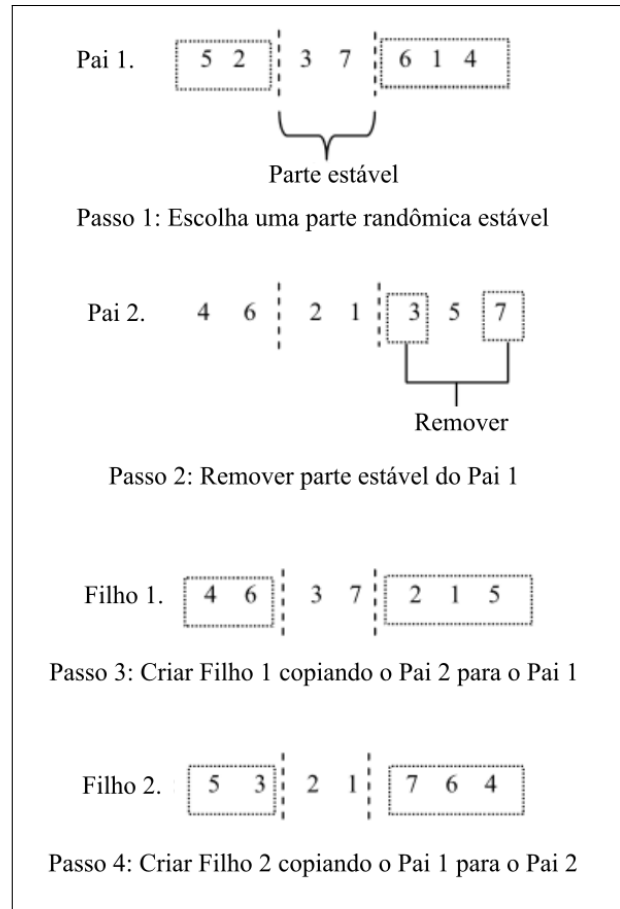
- Single Point*, no qual um ponto de corte randômico é escolhido, gerando dessa maneira duas cabeças e duas caldas, onde a troca entre esses cortes produz um novo indivíduo;
- múltiplos pontos, existem vários pontos de corte onde os elementos gerados são montados também são montados a partir dos elementos resultantes;
- Cross Over* uniforme, dados dois parentes um indivíduo é criado a partir de uma máscara de maneira randômica.

Um exemplo da aplicação da operação de *Cross Over* com a técnica uniforme é realizado no trabalho de Liu e He (2006), nela a geração de um novo indivíduo é feita em quatro etapas como ilustrado na Figura 9:

- escolha de uma parte randômica que permanecerá fixa de ambos os pais;
- remoção da parte fixa do primeiro pai;
- cópia do primeiro pai para o segundo pai;
- cópia do segundo pai para o primeiro pai.

4.2.3 OPERAÇÃO DE MUTAÇÃO

Affenzeller et al. (2009) descreve que a operação de mutação como pequenos pulos indiretos dentro das possíveis combinações para resolução de um problema. E também que a mutação deva ocorrer de maneira rara e randômica com uma probabilidade menor que 10%. Além disso segundo Affenzeller et al. (2009) a aplicação da mutação pode acarretar problemas com a validade de um cromossomo, exemplo, a duplicação de um cromossomo

Figura 9 – Operação de *Cross Over* uniforme

Fonte: [Liu e He \(2006\)](#)

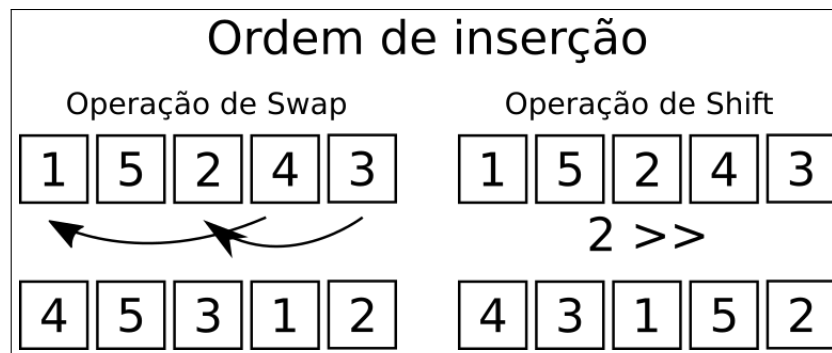
pode ser ilegal. Então, para estes casos [Affenzeller et al. \(2009\)](#) sugere alternativas que realizam *swap* ou *shift* dos elementos de um cromossomo. As operações de *shift* e *swap* podem ser observadas na Figura 10.

4.2.4 FUNÇÃO DE FITNESS

Para [Sivanandam e Deepa \(2007\)](#) em algoritmos genéticos o *fitness* de um indivíduo é o valor resultante de uma função que leva em consideração as características observáveis de um indivíduo. Durante cada geração os indivíduos de uma população são avaliados e para cada indivíduo é atribuído um valor de *fitness* ([AFFENZELLER et al., 2009](#)). A função de *fitness* tem o objetivo de garantir que a performance de novos indivíduos gerados tenha uma performance relativa à da população anterior ([AFFENZELLER et al., 2009](#)). Uma das abordagens adota por [Junior, Pinheiro e Saraiva \(2013\)](#) foi utilizar uma função de *fitness* que permitia verificar taxa de utilização do material, como pode ser observado na fórmula

$$f(S_i) = A_p / (W \cdot L_{max}(S_i))$$

Figura 10 – Operação de mutação



Fonte: Elaborado pelo autor

nela Si representa uma solução tal que A_p é a soma de área dos polígonos, W é o comprimento do material e $L_{max}(Si)$ representa a coordenada máxima da ocupação horizontal da solução.

Referências

- AFFENZELLER, M. et al. *Genetic algorithms and genetic programming: modern concepts and practical applications*. [S.l.]: Crc Press, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- BRANDT, D. Distribuição otimizada de polígonos em um plano bidimensional. FURB, 2011. Citado 5 vezes nas páginas 1, 2, 4, 5 e 6.
- BURKE, E. K. et al. Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 179, n. 1, p. 27–49, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 8, 9 e 10.
- ESICUP. 2016. Disponível em: <<http://esicup.junifeup.pt/>>. Acesso em: 1.9.2016. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 8.
- HAIMING, L. et al. Optimization algorithm based on niche genetic algorithm for irregular nesting problem. In: IEEE. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*. [S.l.], 2015. p. 4259–4263. Citado na página 1.
- JAKOBS, S. On genetic algorithms for the packing of polygons. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 88, n. 1, p. 165–181, 1996. Citado na página 3.
- JUNIOR, B. A.; PINHEIRO, P. R.; SARAIVA, R. D. Tackling the irregular strip packing problem by hybridizing genetic algorithm and bottom-left heuristic. In: IEEE. *2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation*. [S.l.], 2013. p. 3012–3018. Citado 6 vezes nas páginas 1, 2, 3, 4, 6 e 13.
- KENDALL, G. *Applying meta-heuristic algorithms to the nesting problem utilising the no fit polygon*. Tese (Doutorado) — University of Nottingham, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 11.
- LIU, H.; HE, Y. Research and implementation of irregular-shaped nesting problem. In: IEEE. *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*. [S.l.], 2006. v. 1, p. 1397–1400. Citado 7 vezes nas páginas 1, 2, 3, 4, 6, 12 e 13.
- MITCHELL, M. *An introduction to genetic algorithms*. [S.l.]: MIT press, 1998. Citado na página 11.
- MUNDIM, L. R.; QUEIROZ, T. A. de. A hybrid heuristic for the 0-1 knapsack problem with items of irregular shape. In: *Informatica (CLEI), 2012 XXXVIII Conferencia Latinoamericana En*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1–6. Citado na página 1.
- POPA, R. *Genetic Algorithms in Applications*. [S.l.]: InTechOpen, 2012. Citado na página 11.
- SIVANANDAM, S.; DEEPA, S. *Introduction to genetic algorithms*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 13.
- SVGNEST. 2016. Disponível em: <<https://github.com/Jack000/SVGnest>>. Acesso em: 1.9.2016. Citado na página 9.

VASANTHA, G. V. A. et al. Crowdsourcing solutions to 2d irregular strip packing problems from internet workers. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, p. 1–22, 2015. Citado na página [6](#).

ASSINATURAS

(Atenção: todas as folhas devem estar rubricadas)

Assinatura do(a) Aluno(a): _____

Assinatura do(a) Orientador(a): _____

Assinatura do(a) Coorientador(a) (se houver): _____

Observações do orientador em relação a itens não atendidos do pré-projeto (se houver):

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO (PROJETO) – PROFESSOR TCC I

Acadêmico(a): _____

Avaliador(a): _____

| ASPECTOS AVALIADOS ¹ | | atende | parcialmente atende | não atende |
|---|---|--------|---------------------|------------|
| ASPECTOS TÉCNICOS | 1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado? | | | |
| | O problema está claramente formulado? | | | |
| | 2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado? | | | |
| | Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal? | | | |
| | 3. TRABALHOS CORRELATOS São apresentados trabalhos correlatos, bem como descritas as principais funcionalidades e os pontos fortes e fracos? | | | |
| | 4. JUSTIFICATIVA Foi apresentado e discutido um quadro relacionando os trabalhos correlatos e suas principais funcionalidades com a proposta apresentada? | | | |
| | São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta? | | | |
| | São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta? | | | |
| | 5. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO Os requisitos funcionais e não funcionais foram claramente descritos? | | | |
| | 6. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC? | | | |
| | Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados e são compatíveis com a metodologia proposta? | | | |
| | 7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC? | | | |
| ASPECTOS METODOLÓGICOS | As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)? | | | |
| | 8. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica? | | | |
| | A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)? | | | |
| | 9. ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TEXTO A organização e apresentação dos capítulos, seções, subseções e parágrafos estão de acordo com o modelo estabelecido? | | | |
| | 10. ILUSTRAÇÕES (figuras, quadros, tabelas) As ilustrações são legíveis e obedecem às normas da ABNT? | | | |
| | 11. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES As referências obedecem às normas da ABNT? | | | |
| | As citações obedecem às normas da ABNT? | | | |
| Todos os documentos citados foram referenciados e vice-versa, isto é, as citações e referências são consistentes? | | | | |

PARECER – PROFESSOR DE TCC I OU COORDENADOR DE TCC:

O projeto de TCC será reprovado se:

- qualquer um dos itens tiver resposta **NÃO ATENDE**;
- pelo menos **4 (quatro)** itens dos **ASPECTOS TÉCNICOS** tiverem resposta **ATENDE PARCIALMENTE**; ou
- pelo menos **4 (quatro)** itens dos **ASPECTOS METODOLÓGICOS** tiverem resposta **ATENDE PARCIALMENTE**.

PARECER: () APROVADO () REPROVADO

Assinatura: _____ Data: _____

¹ Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO (PROJETO) – PROFESSOR AVALIADOR

Acadêmico(a): _____

Avaliador(a): _____

| ASPECTOS AVALIADOS ¹ | | atende | parcialmente atende | não atende |
|---------------------------------|--|--------|---------------------|------------|
| ASPECTOS TÉCNICOS | 1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado? | | | |
| | O problema está claramente formulado? | | | |
| | 2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado? | | | |
| | Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal? | | | |
| | 3. TRABALHOS CORRELATOS São apresentados trabalhos correlatos, bem como descritas as principais funcionalidades e os pontos fortes e fracos? | | | |
| | 4. JUSTIFICATIVA Foi apresentado e discutido um quadro relacionando os trabalhos correlatos e suas principais funcionalidades com a proposta apresentada? | | | |
| | São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta? | | | |
| | São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta? | | | |
| | 5. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO Os requisitos funcionais e não funcionais foram claramente descritos? | | | |
| | 6. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC? | | | |
| | Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados e são compatíveis com a metodologia proposta? | | | |
| | 7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC? | | | |
| | As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)? | | | |
| ASPECTOS METODOLÓGICOS | 8. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica? | | | |
| | A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)? | | | |

PARECER – PROFESSOR AVALIADOR:

O projeto de TCC deverá ser revisado, isto é, necessita de complementação, se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos **5 (cinco)** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

PARECER: () APROVADO () REPROVADO

Assinatura: _____ Data: _____

¹ Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.