


**UM SISTEMA PARA APOIAR NA VISUALIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DO PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL EM PLACAS DE MADEIRA****A SYSTEM TO SUPPORT THE VISUALIZATION OF SOLUTIONS TO THE TWO-DIMENSIONAL CUTTING PROBLEM IN WOOD BOARDS****UN SISTEMA PARA FACILITAR LA VISUALIZACIÓN DE SOLUCIONES AL PROBLEMA DEL CORTE BIDIMENSIONAL EN TABLAS DE MADERA** <https://doi.org/10.56238/rcsv16n6-006>

Data de submissão: 17/05/2026

Data de aprovação: 17/06/2026

**Miqueias Santiago de Almeida**

Graduando em Engenharia de Software  
Instituição: Universidade Federal do Ceará  
Endereço: Ceará, Brasil  
E-mail: miqueiasengsoft@alu.ufc.br  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-6938-1294>  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3803141345984812>

**Wallison Breno Gomes Martins**

Graduando em Engenharia de Software  
Instituição: Universidade Federal do Ceará  
Endereço: Ceará, Brasil  
E-mail: wallisonbreno@alu.ufc.br  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-2392-0413>  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6184750920473776>

**Mayrton Dias de Queiroz**

Doutor em Ciência da Computação  
Instituição: Universidade Federal do Ceará  
Endereço: Ceará, Brasil  
E-mail: mayrton@ufc.br  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0116-5854>  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2061236974018450>

**RESUMO**

Ao desenvolver um produto, uma das preocupações é com relação ao uso da matéria-prima, como ferro, metal, vidro, madeira, entre outros. Dessa forma, surge o desafio de encontrar soluções eficientes para obter e validar as soluções encontradas. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho consiste em identificar uma alternativa, por meio da criação de um sistema, capaz de auxiliar na visualização das soluções para o problema de corte bidimensional em placas de madeira que determina uma sequência de cortes que reduz o desperdício de material. Neste trabalho, foi possível planejar a sequência de passos para a construção do sistema, bem como obter uma prova de conceito ao implementar o sistema. Assim, o sistema permite que os especialistas validem as soluções encontradas pelos algoritmos de otimização, evitando assim simulações manuais. Com o sistema, o especialista consegue validar as soluções de forma rápida e intuitiva.

**Palavras-chave:** Problema de Corte. Madeira. Otimização. Visualização.

**ABSTRACT**

When developing a product, one of the concerns is the use of raw materials, such as iron, metal, glass, wood, and others. Therefore, the challenge arises of finding efficient solutions to obtain and validate the solutions found. Given this scenario, the objective of this work is to identify an alternative, through the creation of a system, capable of assisting in visualizing solutions for the problem of two-dimensional cutting of wooden boards, determining a sequence of cuts that reduces material waste. In this work, it was possible to plan the sequence of steps for building the system, as well as obtain a proof of concept by implementing the system. Thus, the system allows specialists to validate the solutions found by the optimization algorithms, thus avoiding manual simulations. With the system, the specialist can validate the solutions quickly and intuitively.

**Keywords:** Cutting Problem. Wood. Optimization. Visualization.

**RESUMEN**

Al desarrollar un producto, una de las preocupaciones es el uso de materias primas como hierro, metal, vidrio, madera, entre otras. Por lo tanto, surge el desafío de encontrar soluciones eficientes para obtener y validar las soluciones encontradas. Ante este escenario, el objetivo de este trabajo es identificar una alternativa, mediante la creación de un sistema, capaz de ayudar a visualizar soluciones para el problema del corte bidimensional de tablas de madera, determinando una secuencia de cortes que reduzca el desperdicio de material. En este trabajo, fue posible planificar la secuencia de pasos para la construcción del sistema, así como obtener una prueba de concepto mediante su implementación. De esta manera, el sistema permite a los especialistas validar las soluciones encontradas por los algoritmos de optimización, evitando así las simulaciones manuales. Con el sistema, el especialista puede validar las soluciones de forma rápida e intuitiva.

**Palabras clave:** Problema de Corte. Madera. Optimización. Visualización.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao desenvolver um produto, é de suma importância atentar-se a diversos fatores, dentre eles a eficiência do uso da matéria-prima (Queiroz e Marques, 2019). Os problemas de corte e empacotamento, classicamente, são definidos como problemas de otimização combinatória, surgem da necessidade de dividir recursos (objetos) em itens menores, visando otimizar o espaço e minimizar o desperdício de material (Martínez, 2014). O problema do corte é estudado na literatura e pode ser aplicado a diferentes materiais, como vidro, ferro, papel e madeira, refletindo dificuldades recorrentes reais da indústria e logística (Martínez, 2014; Passos, 2018).

No contexto industrial e de manufatura, é possível destacar o problema de corte bidimensional em peças de madeira e painéis de MDF (do inglês, *Medium Density Fiberboard*), que impõe o constante desafio de encontrar soluções para o melhor aproveitamento do material e consequente redução de custos (Rocha, 2015). Esse cenário exige atenção não apenas ao plano de corte otimizado em si, mas também ao gerenciamento das sobras geradas, cuja minimização contribui para a sustentabilidade ambiental e para o aumento da competitividade das empresas (Anjos, 2012). Adicionalmente, abordagens modernas buscam integrar o problema de corte ao dimensionamento de lotes de produção, visando mitigar incertezas e eliminar desperdícios ao longo de todo o processo produtivo (Oliveira *et al.*, 2022).

Do ponto de vista algorítmico, os problemas de corte bidimensional são frequentemente classificados como *NP-difíceis* ou *NP-hard* devido à sua complexidade e ao crescimento exponencial do número de combinações possíveis à medida que a quantidade de peças aumenta (Sepúlveda, 2013). Por consequência, o tempo computacional exigido por métodos de solução exatos costuma ser impraticável para instâncias reais de grande porte (Martins, 2010). Devido a essa barreira computacional, a literatura evidencia uma predominância de métodos aproximados para a resolução do problema, buscando um equilíbrio satisfatório entre a qualidade da solução e o tempo de processamento exigido. Nesse sentido, destacam-se os procedimentos heurísticos de encaixe e as metaheurísticas populacionais ou de busca por vizinhança, a exemplo de Algoritmos Genéticos, GRASP e *Simulated Annealing* (Candido *et. al.*, 2007; Sepúlveda, 2013).

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho consiste em identificar uma alternativa, por meio da criação de um sistema, capaz de auxiliar na visualização das soluções para o problema de corte bidimensional em placas de madeira que determina uma sequência de cortes que reduz o desperdício de material. Dessa forma, neste trabalho foi possível planejar e implementar um sistema capaz de apoiar na validação visual das soluções.

Para a compreensão da pesquisa, este trabalho está organizado da seguinte maneira. O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, apresentando os conceitos de otimização combinatória e os

algoritmos de corte bidimensional. O Capítulo 3 apresenta as principais fases realizadas na revisão da literatura. No Capítulo 4, detalha a metodologia e a arquitetura da solução proposta para auxiliar os especialistas. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos a partir de simulações e da aplicação da ferramenta desenvolvida. Por fim, o Capítulo 6, serão apresentadas as considerações finais da pesquisa, destacando as contribuições do trabalho e apontando direcionamentos para trabalhos futuros.

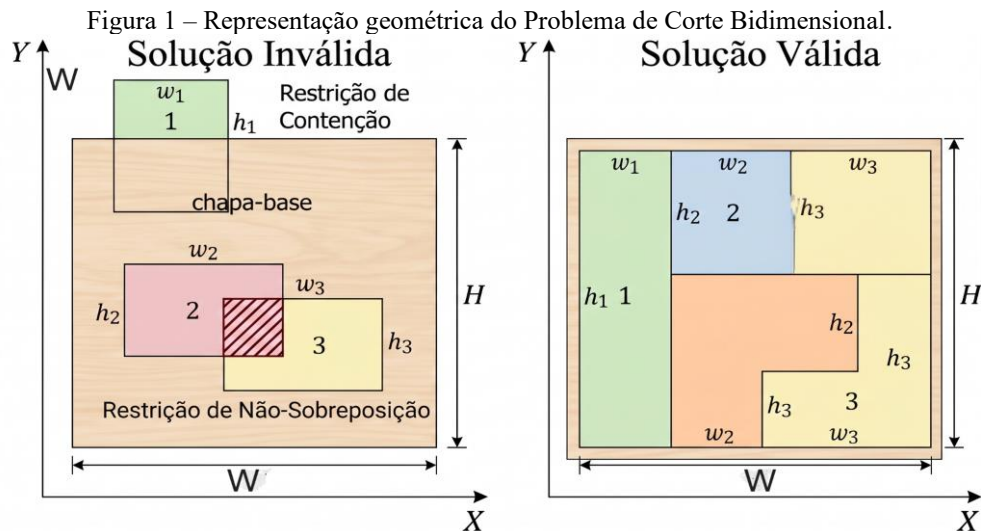
## 2 PROBLEMA DE CORTES BIDIMENSIONAL (2D-CSP)

O Problema de Corte Bidimensional configura-se como a tradução matemática do processo fabril de fracionamento de chapas. Sob a perspectiva da otimização combinatória, o problema consiste em determinar a disposição geométrica ideal de um conjunto de  $n$  itens menores (peças) a partir de objetos maiores padronizados (chapas-matrizes), de modo a atingir uma função objetivo preestabelecida. Esta função geralmente se traduz na minimização do desperdício total de material ou na minimização da quantidade de chapas substituídas para o atendimento de uma carteira de pedidos (Rocha, 2015).

Formalmente, a modelagem determinística do problema pressupõe a existência de um conjunto conhecido de  $n$  tipos de itens retangulares. Cada tipo de item  $i$  é caracterizado por parâmetros rígidos de largura ( $w$ ), comprimento ( $h$ ) e uma demanda específica ( $d$ ), que representa a quantidade exata de peças que devem ser extraídas para a produção. Esses itens devem ser acomodados e arranjados ortogonalmente dentro de placas maiores de dimensões padronizadas, definidas por uma largura constante ( $W$ ) e comprimento constante ( $H$ ). Nesse cenário, a área da chapa-base é necessariamente maior do que a área somada de qualquer subconjunto viável de peças (Anjos, 2012).

Para que uma solução seja considerada factível no ambiente de fabricação e matematicamente válida, o modelo precisa satisfazer simultaneamente um conjunto de restrições espaciais e operacionais. A primeira delas é a restrição de contenção, a qual garante que nenhuma peça ou parte dela extrapole as fronteiras físicas da chapa-base ( $W, H$ ). Ou seja, as coordenadas de posicionamento de cada item devem estar estritamente contidas nos limites bidimensionais da placa geradora. Em conjunto a essa regra, aplica-se a restrição de não-sobreposição (do inglês, *non-overlapping*), que determina que duas ou mais peças não ocupem o mesmo espaço bidimensional na placa. Matematicamente, isso significa que a interseção entre as áreas de quaisquer dois retângulos alocados deve ser rigorosamente nula, assegurando a integridade física de cada item cortado.

A Figura 1 ilustra uma representação visual clássica do arranjo de peças dentro dos limites bidimensionais de uma chapa-matriz.



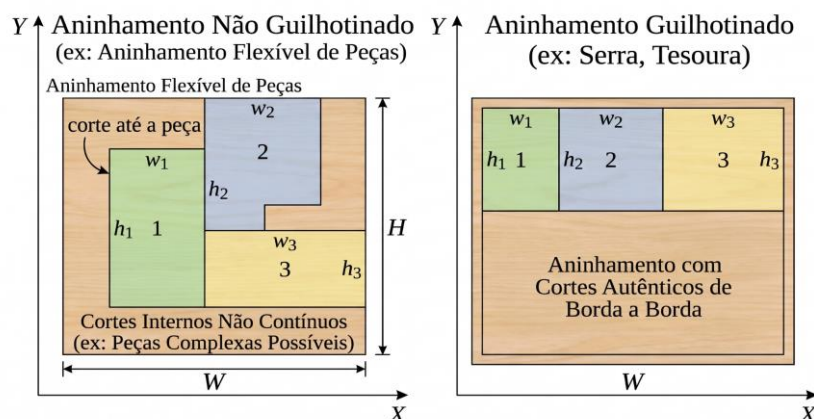
## 2.1 TIPOLOGIA DOS PADRÕES DE CORTE

A forma como a lâmina da máquina percorre a chapa dita qual tipo de algoritmo deve ser utilizado. Baseando-se na tipologia clássica, os cortes industriais dividem-se em:

- **Cortes Guilhotinados:** Neste padrão, cada corte feito pela ferramenta deve atravessar a placa de uma extremidade à outra, em linha reta, separando-a em duas partes distintas. É o tipo de corte mais comum na indústria moveleira devido à limitação mecânica das serras circulares. Eles podem ser ainda subdivididos em cortes estagiados ou não-estagiados.
- **Cortes Não-Guilhotinados:** Permitem arranjos complexos, onde os cortes podem ser interrompidos dentro da chapa, como se fossem “degraus”. Esse padrão gera um encaixe mais denso e eficiente, porém só pode ser executado por maquinários específicos, como as máquinas de comando numérico computadorizado ou corte a laser (Sepúlveda, 2013).

A Figura 2 apresenta as diferenças esquemáticas e operacionais entre as tipologias de cortes guilhotinados e não-guilhotinados.

Figura 2 – Comparativo visual entre padrões de cortes guilhotinados e não-guilhotinados.



## 2.2 ORIENTAÇÃO DAS PEÇAS E TEXTURA DA MADEIRA

Além dos aspectos geométricos, no contexto da indústria madeireira, existe um fator adicional de elevada importância: a textura e a orientação dos veios da madeira. Diferentemente de materiais homogêneos, como vidro e metal, a madeira apresenta padrões naturais visuais que influenciam diretamente o posicionamento das peças durante o processo de corte.

Em aplicações voltadas à fabricação de móveis e elementos decorativos, determinadas peças precisam manter uma orientação específica para preservar a continuidade estética dos veios e da textura do material. Essa restrição é conhecida como corte orientado. Nesse cenário, algumas peças não podem ser rotacionadas livremente durante o encaixe, pois a mudança de orientação comprometeria a aparência visual do produto final ou até mesmo características estruturais da madeira (Rocha, 2015).

A presença dessa restrição torna o problema ainda mais complexo, uma vez que reduz a quantidade de combinações possíveis para o posicionamento das peças na chapa-base. Embora algoritmos com rotação irrestrita frequentemente apresentem melhor aproveitamento do material, a necessidade de alinhamento da textura exige que os métodos de otimização considerem simultaneamente critérios geométricos, operacionais e estéticos (Sepúlveda, 2013).

## 2.3 SISTEMAS APLICADOS AO PROBLEMA DE CORTE

Apesar da quantidade de estudos relacionados ao problema de corte bidimensional, observa-se uma lacuna significativa no desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas à integração e utilização prática desses algoritmos por especialistas não técnicos. Em alguns casos, os motores de otimização são implementados em linguagens de baixo nível ou dependem de modelagens matemáticas complexas, dificultando sua aplicação direta no ambiente industrial (Oliveira *et al.*, 2022).

Nesse contexto, os sistemas computacionais surgem como alternativa para abstrair a complexidade algorítmica e facilitar a utilização dessas técnicas por profissionais da indústria. Um sistema voltado ao problema de corte bidimensional pode automatizar tarefas como entrada de dados, validação das restrições geométricas, execução dos algoritmos de otimização e renderização visual dos planos de corte. Além disso, uma arquitetura modular permite incorporar diferentes algoritmos sem necessidade de alterar a estrutura do sistema, possibilitando maior flexibilidade, reutilização de componentes e facilidade de manutenção.

Dessa forma, o presente trabalho fundamenta-se nos conceitos de otimização combinatória, heurísticas de corte bidimensional e arquitetura de sistemas modulares, visando desenvolver uma solução capaz de integrar diferentes algoritmos de corte em um ambiente acessível, extensível e aplicável ao contexto industrial da madeira.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, apresenta-se o estado da arte referente aos problemas de corte e empacotamento, com enfoque nas abordagens computacionais aplicadas, especialmente em cenários bidimensionais. As técnicas de otimização aplicadas a esses problemas têm demonstrado contribuições significativas para o aumento do desempenho industrial, seja por meio da minimização de perdas ou pela reutilização de sobras (Anjos, 2012). A complexidade algorítmica inerente a esses problemas, classificados como NP-difíceis, tem motivado o desenvolvimento de diversas arquiteturas de software e formulações matemáticas (Sepúlveda, 2013).

Os trabalhos a seguir estão agrupados por similaridade metodológica, destacando o uso de heurísticas, metaheurísticas e aplicações diretas em ambientes de manufatura.

#### 3.1 HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS APLICADAS NO PROBLEMA DE CORTE

Na literatura, é possível observar a adoção dos algoritmos da inteligência artificial para contornar a explosão combinatória dos problemas de corte bidimensional. No trabalho de Candido *et al.*, (2007), os autores propuseram uma estratégia computacional dividida em duas fases para a geração de padrões de corte bidimensionais do tipo guilhotinado. Na primeira etapa, algoritmos genéticos são aplicados para agrupar os itens em subconjuntos. Na segunda etapa, técnicas heurísticas baseadas no algoritmo de Wang e na abordagem *First Fit Decreasing Height* determinam o arranjo geométrico.

No tratamento de cortes do tipo não-guilhotinado, Sepúlveda (2013) implementou a metaheurística *Simulated Annealing* em conjunto com a heurística construtiva *Bottom-Left*. O método obteve sucesso ao explorar o espaço de busca, alcançando taxas de ocupação da placa entre 90% e 98% em casos de teste da literatura.

Adicionalmente, em Martínez (2014), o autor desenvolveu metodologias aproximadas para problemas da mochila bidimensional e carregamento de contêineres, empregando hibridizações de otimização por enxame de partículas (PSO), busca em vizinhança variável (VND) e algoritmos genéticos, além do algoritmo GRASP. Para itens com formatos irregulares (como o formato L), Cheri e Vianna (2012), modificaram a abordagem em Grafo E/OU, permitindo combinar cortes guilhotinados e não-guilhotinados.

#### 3.2 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

O desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão para o chão de fábrica, especialmente no setor moveleiro, exige o processamento rápido de estruturas de dados complexas que representam os padrões de corte. No trabalho de Rocha (2015), o autor utilizou o Método Simplex com geração de colunas para resolver o problema de corte bidimensional em uma fábrica de móveis de médio porte. O

estudo destaca que a necessidade de rapidez na produção pode gerar maior perda de matéria-prima, exigindo um balanceamento dessas características pelo algoritmo adotado.

Visando a minimização do tempo de *setup* das máquinas, em Martins (2010), o autor desenvolveu o Algoritmo de Frequência Mínima do Padrão (AFM-P). O procedimento impõe, de forma dinâmica, restrições de frequência mínima para a utilização de um padrão, visando reduzir simultaneamente o número de objetos cortados e os ciclos da serra na geração de padrões *n*-grupos.

Na vertente da gestão de resíduos, no trabalho de Anjos (2012), o autor propôs um algoritmo para classificar sobras históricas em classes bidimensionais, identificando aquelas que podem ser convertidas em retalhos reaproveitáveis. A implementação deste sistema resultou em uma redução de 27% nas perdas da empresa avaliada.

Lidando com a incerteza intrínseca aos processos produtivos, Ghidini *et. al.*, (2022) utilizaram uma abordagem híbrida de Simulação-Otimização para o problema integrado de dimensionamento de lotes e corte de estoque. O modelo de otimização linear inteiro foi resolvido heurísticamente (via *solver* CPLEX) e os parâmetros foram validados em um modelo estocástico de eventos discretos, mitigando o impacto da variabilidade nos tempos de processamento. Por fim, Queirós (2019), aplicou o *Biased Random-Key Genetic Algorithm* (BRKGA) para problemas de corte com incerteza na qualidade da matéria-prima, modelando os defeitos através de distribuições de probabilidade Beta.

Para sintetizar as abordagens metodológicas encontradas na literatura, a Tabela 1 apresenta uma consolidação dos principais estudos discutidos neste capítulo.

Tabela 1 – Comparativo entre os trabalhos relacionados.

Artigos	Problema Abordado	Abordagem Algorítmica / Método
Queirós (2019)	Corte 2D com Incerteza	BRKGA e cenários com distribuição Beta
Anjos (2012)	Gerenciamento de Sobras	Classificação por classes bidimensionais
Ghidini <i>et. al.</i> (2022)	Dimensionamento e Corte	Simulação / Otimização de eventos discretos
Candido <i>et. al.</i> (2007)	Corte Guilhotinado 2D	Algoritmos Genéticos e Heurísticas de Encaixe
Rocha (2015)	Corte 2D (Industria)	Método Simplex com Geração de Colunas
Sepúlveda (2013)	Corte Não-Guilhotinado 2D	<i>Simulated Annealing</i> e <i>Bottom-Left</i>
Cherri e Vianna (2012)	Itens Irregulares (Tipo L)	Abordagem em Grafo E/OU
Martínez (2014)	Empacotamento e Corte	PSO, GRASP, VND e Algoritmos Genéticos
Martins (2010)	Redução de Ciclos da Serra	Algoritmo de Frequência Mínima (AFM-P)

Fonte: elaborada pelos autores (2026)

#### 4 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do sistema proposto. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza tecnológica e aplicada, estruturado em três passos principais: (i) Revisão Sistemática da Literatura (RSL), (ii) Planejamento e (iii) Modelagem do sistema.

#### 4.1 PASSO 1 – REVISÃO DA LITERATURA

A realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) teve como objetivo identificar, analisar e consolidar as principais abordagens utilizadas na resolução do problema de corte bidimensional, com foco na área madeireira. Considerando a diversidade de técnicas existentes, a RSL foi fundamental para compreender o estado da arte e apoiar a definição dos componentes do sistema proposto.

A revisão permitiu identificar diferentes classes de métodos aplicados ao problema, incluindo abordagens exatas, heurísticas e metaheurísticas. Entre os algoritmos mais recorrentes, destacam-se técnicas como Algoritmos Genéticos, GRASP, *Simulated Annealing* e suas variações, evidenciando a predominância de métodos aproximados na literatura, devido à complexidade computacional do problema. Além disso, a análise dos trabalhos selecionados possibilitou compreender como os algoritmos são estruturados, quais tipos de entrada são utilizados e de que forma os resultados são representados. Essas informações foram essenciais para definir um padrão de entrada e saída compatível com múltiplos algoritmos, viabilizando sua integração ao sistema.

Outro aspecto relevante identificado na revisão foi a ausência de ferramentas que integrem diferentes algoritmos em um único ambiente, com foco na usabilidade para especialistas não técnicos. Esse fator reforçou a necessidade de uma solução que automatize o processo de preparação dos dados, execução dos algoritmos e interpretação dos resultados. Dessa forma, a RSL não apenas contribuiu para a fundamentação teórica do trabalho, mas também orientou diretamente as decisões relacionadas ao desenvolvimento do sistema, especialmente no que se refere à definição do fluxo de processamento e à padronização da comunicação entre os componentes do sistema.

#### 4.2 PASSO 2 – PLANEJAMENTO DO SISTEMA

O sistema foi concebido sob uma arquitetura modular que separa as responsabilidades de entrada de dados, persistência, tradução de comunicação e renderização gráfica. O objetivo central consiste em abstrair a complexidade das rotinas de otimização matemática, atuando como um intermediador estruturado entre o usuário humano e o algoritmo de processamento — este último frequentemente implementado em linguagens de programação de baixo nível. Para que o sistema seja reprodutível e independente de tecnologias de software específicas, sua lógica de operação fundamenta-se na manipulação de um conjunto restrito de entidades de domínio e em um fluxo de dados sequencial estritamente definido.

#### 4.2.1 Modelo de entidades e relacionamentos

A base de dados do sistema foi modelada sob o paradigma relacional para representar os elementos físicos do problema de corte bidimensional. A estrutura é composta por duas entidades principais que se inter-relacionam de forma hierárquica. A entidade primordial é o Projeto, que representa o plano de corte em sua totalidade. Esta entidade atua como a chapa-base e armazena os parâmetros globais da operação, abrangendo as dimensões físicas originais da matéria-prima (largura e comprimento), a identificação do algoritmo de otimização designado para o cálculo e as restrições operacionais específicas, como a imposição de cortes guilhotinados ou não-guilhotinados.

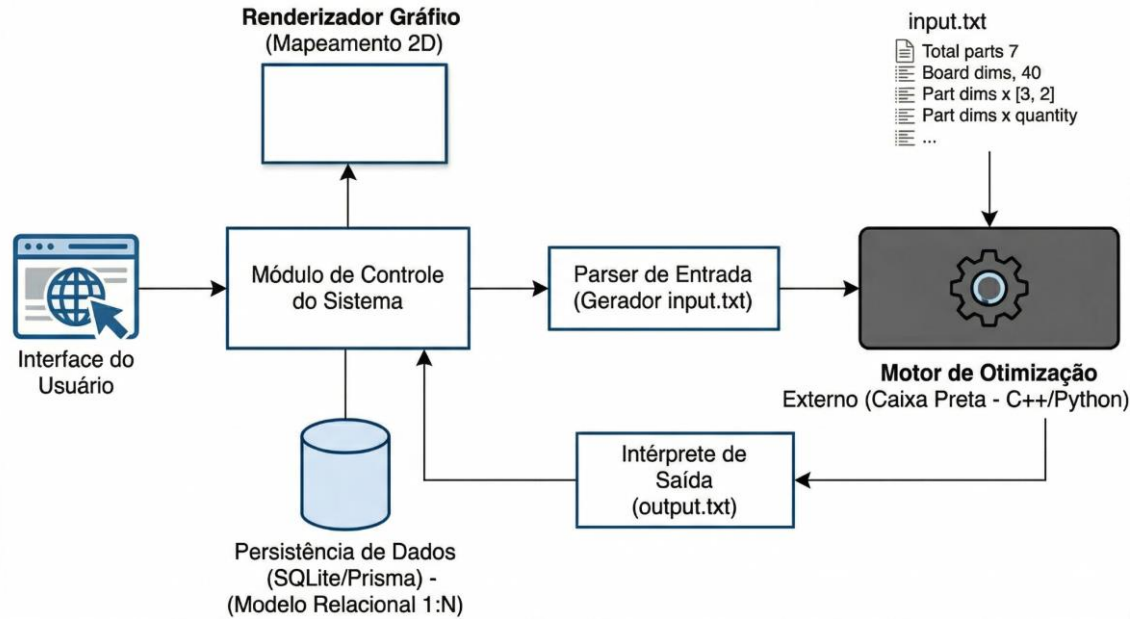
Subordinada a essa estrutura global, encontra-se a entidade Peça, que representa os elementos menores a serem extraídos da chapa-base. Cada registro desta entidade armazena os atributos espaciais de largura e comprimento, além da quantidade exigida daquele item específico. O relacionamento estabelecido entre essas entidades é de um-para-muitos (1: N), indicando que um único projeto pode conter múltiplas peças associadas a ele. Essa modelagem garante que a lista de demandas geométricas e restrições operacionais permaneça logicamente encapsulada sob um único plano de corte antes da submissão do processamento matemático.

#### 4.2.2 Lógica de operação e fluxo de processamento

O ciclo de vida da informação dentro do sistema ocorre de forma sequencial, iniciando-se pela etapa de parametrização e validação. O fluxo tem origem na interface computacional, onde o usuário insere as dimensões da chapa-base e cadastra a lista de peças demandadas. Imediatamente, o sistema atua validando as restrições físicas elementares — por exemplo, bloqueando o cadastro de uma peça cujas dimensões individuais superem as proporções da chapa-matriz. Após essa triagem lógica, as informações são consolidadas e armazenadas de forma íntegra.

Para que o algoritmo de otimização externo compreenda a demanda estruturada, o sistema aciona um módulo tradutor (*parser*) encarregado de converter as entidades relacionais em um formato de texto linear e padronizado. A lógica de geração desse artefato obedece a uma sequência rígida: primeiramente, o sistema executa a soma aritmética do atributo correspondente à quantidade das entidades associadas ao projeto, obtendo o volume total de itens geométricos. Esse valor absoluto encontra-se no início do arquivo de entrada, seguido pela declaração das dimensões da chapa-base. Por fim, o sistema aplica um laço de repetição sobre a lista de peças. Para cada entidade, suas dimensões de largura e comprimento são impressas no arquivo de forma iterativa, repetindo o número exato de vezes correspondente à demanda. Esse procedimento organiza a lista agrupada, transformando-a em itens individuais prontos para o processamento. A Figura 3 ilustra visualmente a sequência de operações e transições de estado descritas para a arquitetura do sistema.

Figura 3 – Fluxo de execução do sistema proposto.



Fonte: elaborada pelos autores (2026)

Observa-se na Figura 3 que o sistema atua como intermediador entre a entrada de dados e o algoritmo de otimização, sendo responsável pela geração e interpretação dos arquivos de entrada e saída. Com o arquivo de entrada gerado, inicia-se a fase de processamento desacoplado. O documento é submetido ao algoritmo de otimização selecionado, momento em que o sistema transita para um estado de espera. Nessa arquitetura, o motor de cálculo matemático é tratado como uma “caixa preta”: a única exigência estrutural de acoplamento é que, ao finalizar a alocação do espaço, o algoritmo retorne um arquivo de saída contendo exclusivamente as coordenadas de posicionamento bidimensional de cada peça.

Ao receber esses resultados, a etapa final de mapeamento lógico e renderização gráfica é engatilhada. Dado que os dados processados representam dimensões físicas reais, o sistema aplica uma transformação geométrica para desenhar os itens na tela virtual. O cálculo de escala é realizado dividindo-se as dimensões do ambiente virtual de visualização pelas dimensões reais da chapa-base, o que pode ser formalizado pelas razões:

$$E_x = \frac{V_x}{R_x}$$

$$E_y = \frac{V_y}{R_y}$$

Onde:

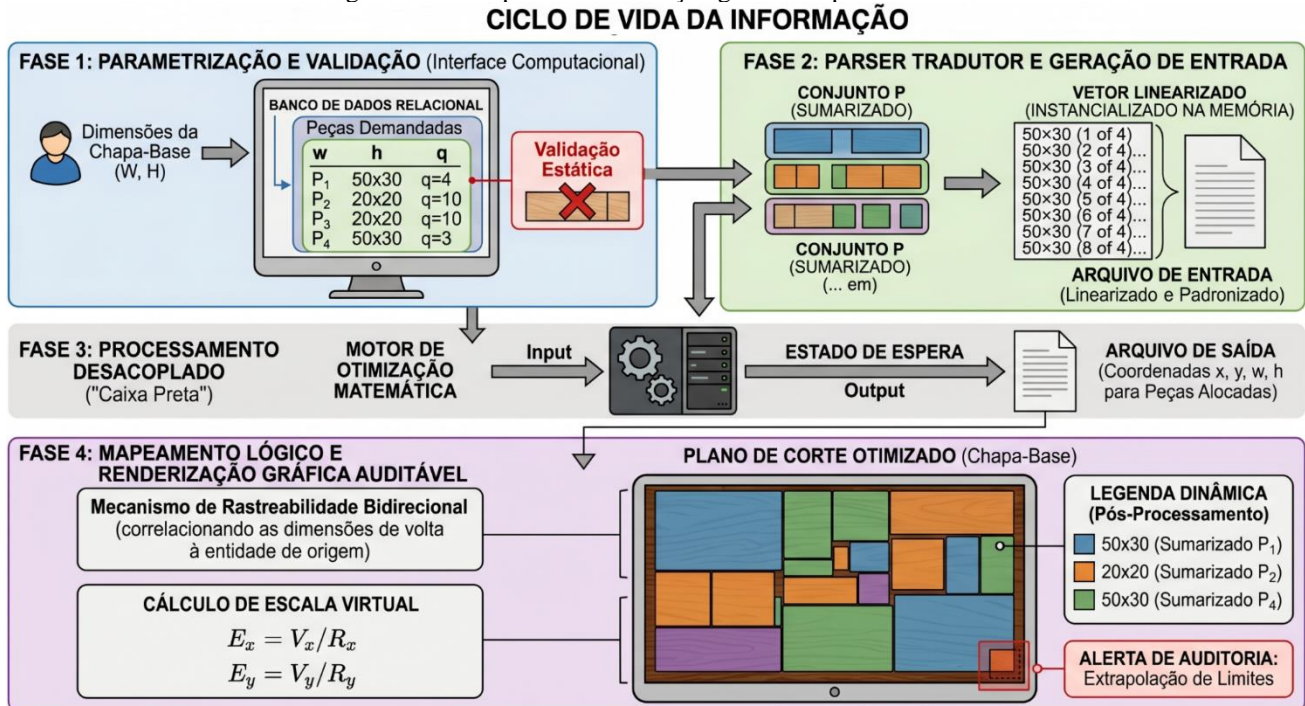
$E_x$  e  $E_y$  correspondem aos fatores de proporção;  
 $V_x$  e  $V_y$  às dimensões virtuais da tela;  
 $R_x$  e  $R_y$  às dimensões reais da matéria-prima.

Para facilitar a análise visual do plano, o sistema varre a lista de peças alocadas e mapeia uma cor distinta para cada conjunto de dimensões idênticas, originando uma legenda dinâmica. Ao multiplicar as coordenadas brutas recebidas do algoritmo pelos fatores de escala calculados, o sistema desenha a chapa-base e posiciona os retângulos correspondentes às peças sobre ela. Como medida de auditoria, essa etapa visualiza e sinaliza automaticamente caso alguma coordenada gerada pela otimização extrapole os limites físicos da chapa-matriz. Dessa forma, a arquitetura assegura tanto a resolução algorítmica do problema quanto a devolução dos dados em um formato auditável e exportável para o ambiente de produção fabril. A Figura 4 demonstra um exemplo do resultado desta etapa de renderização gráfica após o processamento das coordenadas.

Para fundamentar a reprodutibilidade técnica deste fluxo, é importante detalhar a modelagem estrutural e o comportamento da entidade “Peça”, concebida como a unidade atômica de demanda do sistema. Estruturalmente, esta entidade é definida por uma tupla de três atributos primitivos: largura ( $w$ ), comprimento ( $h$ ) e quantidade demandada ( $q$ ). Do ponto de vista arquitetural, a entidade opera sob dois paradigmas lógicos transicionais, condicionados à fase de execução do sistema.

Na camada de persistência de dados e de interface, a entidade adota um padrão focado na eficiência de armazenamento. Nesse estágio, itens com restrições dimensionais idênticas são sumarizados em um único registro na base de dados relacional, formando o conjunto  $P = (w_1, h_1, q_1), \dots, (w_n, h_n, q_n)$ . O volume total da demanda é controlado exclusivamente pelo atributo escalar  $q$ , reduzindo a redundância de dados e otimizando a latência nas consultas de entrada e saída (I/O).

Figura 4 – Exemplo de renderização gráfica do plano de corte.



Fonte: elaborada pelos autores (2026)

Contudo, ao transitar para o módulo de geração de entrada (*parser*), o comportamento da entidade é alterado para o estado de instanciação. A primeira operação é a validação estática de viabilidade: o sistema confronta as dimensões ( $w, h$ ) de cada registro sumarizado contra os limites dimensionais da chapa-matriz ( $W, H$ ), rejeitando a matriz de dados caso exista alguma peça cujos eixos superem a área disponível. Satisfeita a restrição física elementar, o atributo quantidade ( $q$ ) opera como um iterador para o desmembramento topológico na memória principal. A entidade sumarizada projeta  $q$  instâncias operacionais independentes — mapeando um registro ( $w, h, q$ ) para um vetor linearizado contendo  $q$  elementos do tipo ( $w, h$ ) —, o que garante a conversão da estrutura relacional para o formato serializado consumido nativamente pelos motores de otimização matemática.

Por fim, o ciclo de vida da entidade consolida-se através de seu mecanismo de rastreabilidade bidirecional. Como os algoritmos de otimização de *Bin Packing* tipicamente retornam apenas matrizes numéricas contendo posições espaciais ( $x, y$ ) acopladas às dimensões alocadas ( $w, h$ ), o sistema utiliza o par ordenado ( $w, h$ ) de cada instância como uma chave composta de integridade (função *hash*). Essa modelagem garante que o módulo de renderização gráfica correlacione univocamente as coordenadas processadas de volta à sua entidade agrupada de origem. Consequentemente, peças de mesmas proporções são aglutinadas sob a mesma identidade visual (espectro de cor e legenda dinâmica), assegurando a auditabilidade completa do plano de corte gerado.

### 4.3 PASSO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O sistema foi desenvolvido com base na arquitetura definida, priorizando a modularidade e a automação do processamento. A aplicação foi implementada utilizando Node.js e o *framework* Next.js, permitindo a integração entre *front-end* e *back-end* em uma única aplicação.

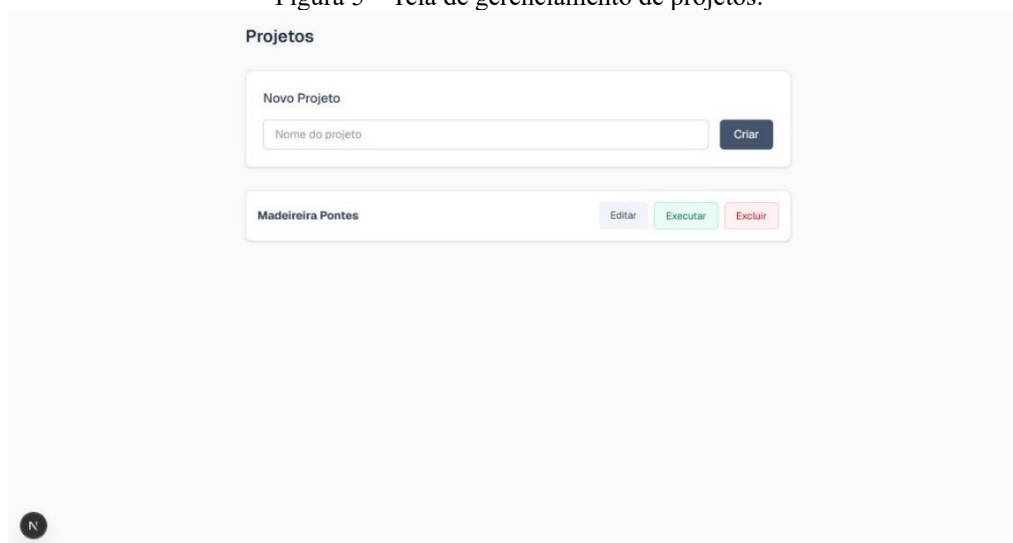
No servidor, foram implementados módulos responsáveis pela geração do arquivo entrada.txt a partir dos dados fornecidos pelo usuário, bem como pela execução do algoritmo de otimização. Após a execução, o algoritmo gera o arquivo saída.txt, que é interpretado pelo sistema por meio de rotinas específicas de leitura e processamento. As informações extraídas são estruturadas para apresentação ao usuário na interface do sistema.

Para persistência, foi utilizado um banco de dados SQL local, responsável pelo armazenamento de parâmetros de entrada e resultados das execuções. A interface gráfica foi desenvolvida com Tailwind CSS, proporcionando um ambiente responsivo e de fácil interação. O sistema foi implementado de forma extensível, permitindo a incorporação de novos algoritmos compatíveis com o padrão dos arquivos de entrada e saída.

## 5 RESULTADOS

Esta seção apresenta as principais funcionalidades implementadas no sistema desenvolvido, bem como as interfaces responsáveis pelo gerenciamento, configuração e execução dos projetos relacionados ao problema de corte bidimensional em madeira. A Figura 5 apresenta a tela inicial do sistema, responsável pelo gerenciamento dos projetos cadastrados.

Figura 5 – Tela de gerenciamento de projetos.



Fonte: elaborada pelos autores (2026)

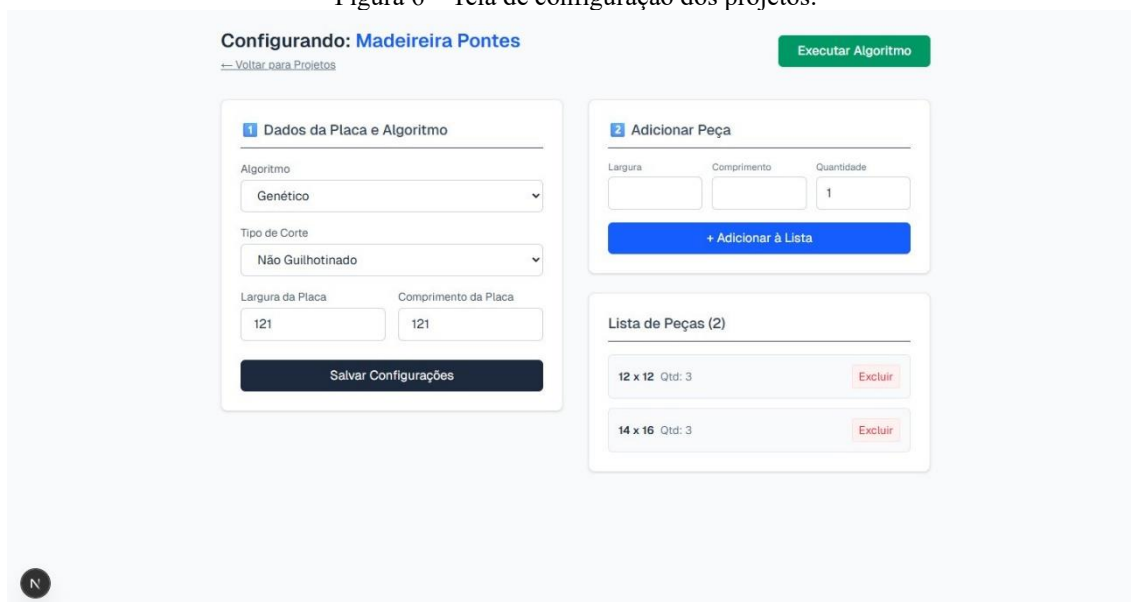
Nessa interface, o usuário pode criar novos projetos, além de editar, executar e excluir projetos previamente criados. Para a criação de um novo projeto, é necessário informar seu nome no campo

disponível na parte superior da página e, em seguida, confirmar a ação por meio de uma janela *pop-up*. Já os projetos existentes podem ser acessados diretamente pela listagem exibida na tela.

Ao selecionar a opção de edição, o usuário é direcionado para a tela de configuração do projeto. A funcionalidade de execução permite iniciar o processamento de projetos previamente configurados, conduzindo o usuário para a página de resultados. Além disso, a exclusão de projetos é realizada mediante confirmação do usuário, evitando remoções acidentais.

A Figura 6 apresenta a tela de configuração do projeto, responsável pela definição dos parâmetros necessários para execução do algoritmo. Inicialmente, o usuário deve informar o algoritmo que será utilizado, o tipo de corte — guilhotinado ou não guilhotinado — e as dimensões da placa, incluindo largura e comprimento.

Figura 6 – Tela de configuração dos projetos.



Fonte: elaborada pelos autores (2026)

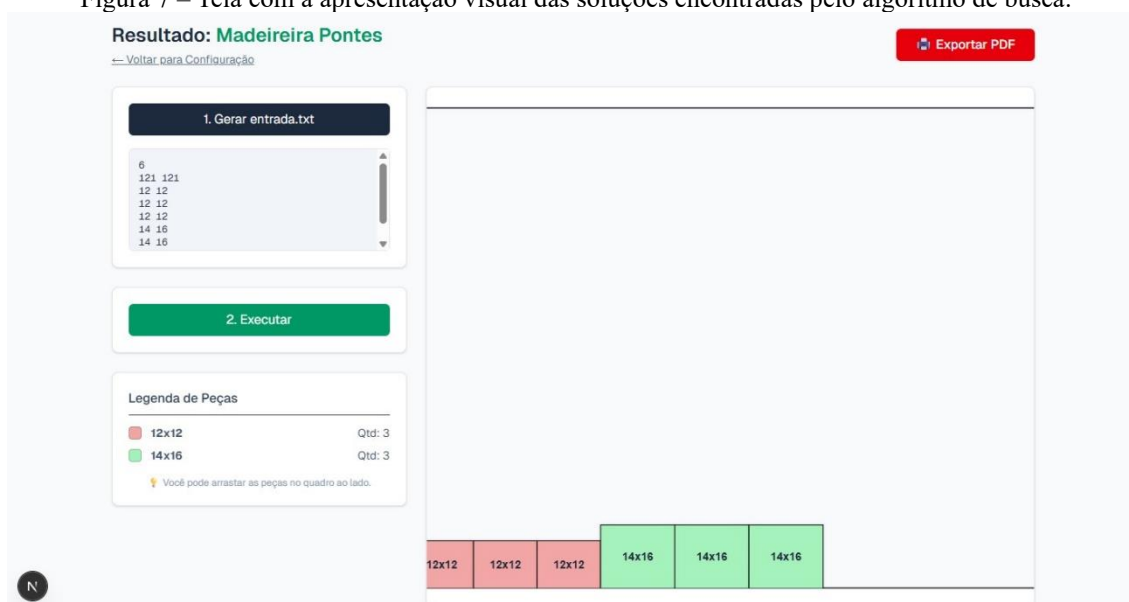
Na etapa seguinte, são cadastradas as peças que compõem o problema. Para cada peça, o usuário deve informar largura, comprimento e quantidade desejada. Após o preenchimento dos dados, as peças são adicionadas ao projeto por meio do botão “+Adicionar à Lista”. Caso existam peças com diferentes dimensões, o processo deve ser repetido para cada conjunto de peças. O sistema também permite remover itens previamente adicionados utilizando a funcionalidade de exclusão disponível ao lado de cada peça cadastrada.

Após a configuração do projeto, o usuário pode optar entre salvar as informações ou executar diretamente o algoritmo. Ao selecionar a opção “Salvar Configurações”, os dados são armazenados e o usuário seja redirecionado para a tela inicial. Já a opção “Executar Algoritmo” inicia o processamento do problema e direciona o usuário para a página de resultados.

A Figura 7 apresenta a tela de resultados do sistema, responsável pela execução do algoritmo e visualização das soluções obtidas. Nessa interface, o usuário dispõe de três funcionalidades principais: geração do arquivo *entrada.txt*, execução do algoritmo e exportação dos resultados em formato PDF. A funcionalidade “Gerar entrada.txt” exibe ao usuário o conteúdo do arquivo de entrada gerado automaticamente pelo sistema, permitindo visualizar as informações enviadas ao algoritmo. Ao selecionar a opção “Executar”, o sistema processa os dados e apresenta graficamente a disposição das peças na placa, utilizando diferentes cores para distinguir peças com dimensões distintas.

Por fim, a funcionalidade “Exportar PDF” permite gerar um documento contendo as principais informações do projeto, incluindo nome do projeto, dimensões da placa, lista de peças cadastradas e o resultado obtido pelo algoritmo, representado pela organização final das peças na placa.

Figura 7 – Tela com a apresentação visual das soluções encontradas pelo algoritmo de busca.



Fonte: elaborada pelos autores (2026)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento deste trabalho, foi possível identificar uma alternativa capaz de auxiliar os especialistas na visualização das soluções geradas pelos algoritmos de otimização, por meio de um sistema que permite criar, editar e visualizar os projetos do problema de corte bidimensional em placas de madeira. Neste trabalho foi realizada a revisão da literatura que permitiu verificar a necessidade de uma abordagem para apoiar na visualização das soluções, desta forma surgiu a proposta de desenvolvimento do sistema.

Durante este trabalho, foi possível planejar e desenvolver um sistema capaz de realizar integrações com arquivo de configurações de entrada e saída, bem como com os algoritmos de otimizações externos.

Dessa forma, é possível destacar como trabalhos futuros:

- Implementação dos algoritmos de busca para validar outras integrações.
- Realização de uma avaliação de experiência com o usuário para obter o feedback do sistema.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, J. M. dos. *Gerenciamento das sobras de painéis de madeira na indústria moveleira*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas.
- CANDIDO, L. C. X.; GUIMARÃES, T. A.; SOUZA, L. V. de. *Geração de padrões de corte em guilhotina bidimensional utilizando algoritmos genéticos e heurísticas de encaixe*. Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia (PPGMNE) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba. 2007.
- CHERRI, Adriana; VIANNA, Andréa. Problemas de corte com itens irregulares. In *44th Brazilian Operations Research Symposium / 16th Latin Ibero American Conference on Operations Research*. Rio de Janeiro. 2012.
- GHIDINI, Carla Taviane Lucke da Silva; OLIVEIRA, Pedro Magalhães; DE OLIVEIRA, Washington Alves. Simulação-otimização aplicada ao problema integrado na indústria de móveis. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 15, p. 1-23, 2022.
- MARTÍNEZ, D. Á. *Estudo dos problemas de corte e empacotamento*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2014. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica.
- MARTINS, A. T. *Estratégias para a redução de ciclos da serra no problema de corte de estoque na indústria moveleira*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto, 2010. Dissertação de Mestrado em Matemática.
- OLIVEIRA, P. M.; OLIVEIRA, W. A.; GHIDINI, C. T. L. S. *Simulação-otimização aplicada ao problema integrado na indústria de móveis*. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 15, p. 1–23, 2022. E15008.
- PASSOS, F. G. dos et al. *Análise das vantagens do uso da pesquisa operacional em problemas de corte: uma revisão sistemática da literatura*. *Produção em Foco*, Joinville, v. 8, n. 2, p. 326–345, 2018.
- ROCHA, R. F. *O problema de corte de estoque numa indústria moveleira*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto, 2015. Dissertação de Mestrado em Matemática.
- SEPÚLVEDA, G. P. L. *Solução do problema de corte bidimensional de peças retangulares tipo não-guilhotinado usando simulated annealing*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.
- QUEIRÓS, I. P. C. *Problemas de corte de peças com incerteza na qualidade da matéria-prima – uma abordagem com algoritmos genéticos*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- QUEIROZ, Mayrton; MARQUES, Elaine. Identificação do Operador de Seleção do Algoritmo Genético Paralelo para o Problema de Corte Bidimensional. In: *ESCOLA REGIONAL DE*

*COMPUTAÇÃO BAHIA, ALAGOAS E SERGIPE (ERBASE)*, 20., 2020, Arapiraca-AL. Anais [...].  
Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 109-118.