



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ailton Luis da Silva Andrade

**Modelo de Programação Linear para a Seleção de Fornecedores de Cana-de-Açúcar
com Base no ATR**

Delmiro Gouveia – AL

2023

Ailton Luis da Silva Andrade

**Modelo de Programação Linear para a Seleção de Fornecedores de Cana-de-Açúcar
com Base no ATR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Jonhatan Magno Norte da Silva

Delmiro Gouveia – AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

A553m Andrade, Ailton Luis da Silva

Modelo de programa linear para a seleção de fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR / Ailton Luis da Silva Andrade. - 2023.
72 f. : il.

Orientação: Jonhatan Magno Norte da Silva.
Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia de Produção. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Engenharia de produção. 2. Indústria sucroenergética. 3. Fornecedores de cana-de-açúcar. 4. Açúcares Totais Recuperáveis - ATR. 5. Pesquisa operacional. 6. Gestão da cadeia de suprimentos. I. Silva, Jonhatan Magno Norte da. II. Título.

CDU: 658.62

Folha de Aprovação

AILTON LUIS DA SILVA ANDRADE

MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA A SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM BASE NO ATR

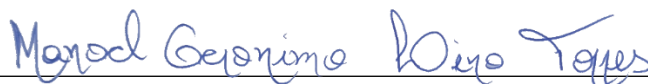
Trabalho de conclusão do curso de
Engenharia de Produção da Universidade
Federal de Alagoas do Campus do Sertão.

Orientador: Dr. Jonhatan Magno Norte da
Silva

Aprovada em 21/07/2023

Documento assinado digitalmente
 JONHATAN MAGNO NORTE DA SILVA
Data: 24/07/2023 20:39:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jonhatan Magno Norte da Silva
Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão



Prof. M.Sc. Manoel Gerônimo Lino Torres
Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão

Documento assinado digitalmente
 CAMYLA FERREIRA MORENO
Data: 24/07/2023 21:26:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M.Sc. Camyla Ferreira Moreno
Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional (PPG-PO) – ITA/UNIFESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus por me proporcionar perseverança e coragem durante esta graduação, e ter me mantido com saúde e forças para chegar até o final.

Aos meus pais, Ailton Andrade e Edineide Andrade, pelo amor, carinho, paciência e incentivo em todos os momentos. Por toda dedicação e esforço para proporcionar a melhor educação e por me apoiarem a superar os obstáculos e momentos desafiadores que a vida me apresentou. Amo vocês!

A minha irmã Auana Andrade que sempre me ajudou, amo você!

Aos meus tios e padrinhos em especial meu Padrinho Jadilton e minhas madrinhas Mana e Mercês que sempre torceram por mim.

Aos meus amigos, que me apoiaram, encorajaram e inspiraram durante essa jornada. Em especial a todos da República BP: Anthony, Murilo, João, Nathan, Leonardo, Magal, Micael, Noé, Felipe, Ewerton e Fabiana vocês são mais que amigos são uma família que Deus colocou em minha vida, nada seria igual sem vocês.

Deixo também, a minha gratidão especial aos amigos que estiveram comigo desde o início da graduação, em especial Anthony, Joyce, Ewerton, Noé, Felipe, Leonardo e Murilo.

Agradeço ao meu orientador, Jonathan Magno, por aceitar me conduzir nesta pesquisa, pela orientação, paciência, disponibilidade e valiosas contribuições dadas durante todo o processo de graduação. Seus conhecimentos, conselhos e trabalho fizeram grande diferença na minha formação.

A todos vocês, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta conquista acadêmica.

RESUMO

A indústria sucroalcooleira desempenha um papel fundamental na economia brasileira, contribuindo significativamente para o PIB nacional e gerando empregos diretos e indiretos. A escolha dos fornecedores de cana-de-açúcar é um aspecto crítico para a viabilidade econômica das usinas de açúcar. No entanto, essa escolha pode ser complexa, envolvendo múltiplos critérios e restrições. Neste contexto, a pesquisa operacional emerge como uma ferramenta essencial para auxiliar na tomada de decisão em relação à seleção dos fornecedores. Através de modelos matemáticos e algoritmos, a pesquisa operacional pode determinar a melhor combinação de fornecedores com base em critérios objetivos, sendo o ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) um dos critérios mais relevantes. Apesar da relevância da pesquisa operacional e do critério do ATR na escolha dos fornecedores, há uma lacuna de estudos que avaliam a aplicação dessa metodologia na gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético. Esta monografia tem como objetivo contribuir para o aprimoramento da gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético, avaliando a aplicação da pesquisa operacional na seleção dos fornecedores com base no critério do ATR. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre pesquisa operacional na indústria sucroalcooleira e coletados dados em uma usina específica. Através da construção de um modelo de programação linear utilizando o software OpenSolver, foi possível analisar os resultados obtidos com o modelo proposto e compará-los com a situação atual da usina. Os resultados demonstraram uma redução significativa nos custos de frete e nos pagamentos aos fornecedores, gerando uma economia substancial. Esses resultados evidenciam a efetividade do modelo proposto, destacando os benefícios que podem ser alcançados por meio da aplicação da pesquisa operacional na seleção de fornecedores de cana-de-açúcar com base no critério do ATR. No geral, este estudo contribui para aprimorar a gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético, oferecendo insights valiosos para a tomada de decisão na escolha dos fornecedores e para o aumento da eficiência, competitividade e sustentabilidade das empresas do setor.

Palavras-chave: indústria sucroenergética, fornecedores de cana-de-açúcar, pesquisa operacional, ATR, gestão da cadeia de suprimentos.

ABSTRACT

The sugarcane industry plays a crucial role in the Brazilian economy, contributing significantly to the national GDP and generating direct and indirect employment opportunities. The selection of sugarcane suppliers is a critical aspect for the economic viability of sugar mills. However, this choice can be complex, involving multiple criteria and constraints. In this context, operations research emerges as an essential tool to aid decision-making regarding supplier selection. Through mathematical models and algorithms, operations research can determine the optimal combination of suppliers based on objective criteria, with TRS (Total Recoverable Sugars) being one of the most relevant indicators. Despite the importance of operations research and the ATR criterion in supplier selection, there is a research gap in evaluating the application of this methodology in supply chain management within the sugarcane industry. This thesis aims to contribute to the improvement of supply chain management in the sugarcane industry by evaluating the application of operations research in supplier selection based on the TRS criterion. A literature review on operations research in the sugar-alcohol industry was conducted, and data was collected from a specific sugar mill. By constructing a linear programming model using the OpenSolver software, the results obtained with the proposed model were analyzed and compared to the current situation of the sugar mill. The results demonstrated a significant reduction in freight costs and supplier payments, resulting in substantial savings. These findings highlight the effectiveness of the proposed model, showcasing the benefits that can be achieved through the application of operations research in the selection of sugarcane suppliers based on the TRS criterion. Overall, this study contributes to the enhancement of supply chain management in the sugarcane industry, providing valuable insights for decision-making in supplier selection and increasing efficiency, competitiveness, and sustainability within the sector.

Keywords: sugarcane industry, suppliers selection, operations research, ATR, supply chain management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- - Processo dinâmico de seleção de fornecedores	14
Figura 2- Problema de Programação Linear.....	30
Figura 3 - Obtenção de ATR.....	35
Figura 4 - Formação do Índice de ATR	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de ATR por Fornecedor.....	38
Tabela 2 - Capacidade de cada Fornecedor	39
Tabela 3 - Valor de Frete.....	40
Tabela 4 – Comparações dos valores de frete da safra com os valores otimizados.....	41
Tabela 6 - Comparação do Valor de Cana do fornecedor e a Quantidade que devem ser solicitadas a eles (Continuação).....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR	Açúcar Total Recuperável
ART	Açúcar Redutores Totais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
1.3.1 Objetivo geral.....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	20
2.1 REVISÃO DO ESTUDO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
2.1.1 Breve histórico da Agroindústria Sucroalcooleira	20
2.1.2 O Setor Sucroalcooleiro no Brasil	22
2.1.3 Açúcar	23
2.1.3.1 Desafios para o Setor	23
2.1.3.2 Oportunidades para o Setor.....	24
2.1.3.3 Perspectivas para o futuro do açúcar no Brasil	24
2.2 REVISÃO DO CONCEITO DE PESQUISA OPERACIONAL.....	25
2.2.1 O processo de tomada de decisão	26
2.2.2 Revisão do conceito de programação linear.....	27
2.2.3 O processo de modelagem	27
2.2.4 Processo de Resolução de um Problema.....	28
2.2.5 Fundamentos da programação Linear	29
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICO.....	32
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	33
3.3 CANA-DE-AÇÚCAR E FORMAÇÃO DO ATR.....	34
3.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	36

3.4.1 Função Objetivo.....	37
3.4.2 Restrições.....	38
- CAPACIDADE DE MOAGEM DA USINA	38
- Quantidade de Cana disponível por fornecedor.....	38
- Valor de Frete.....	39
- Pagamento aos fornecedores	40
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
5. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	46
APÊNDICE A – QUADRO DE FORNECEDORES POR ATR.....	51
APÊNDICE B – QUADRO DE FORNECEDORES POR CAPACIDADE.....	58
APÊNDICE C – QUADRO DE FORNECEDORES POR CAPACIDADE.....	65

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético tem grande relevância para a economia brasileira, sendo responsável por cerca de 2% do PIB nacional e por mais de um milhão de empregos diretos e indiretos (União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA, 2021). Como em todo empreendimento, a escolha dos fornecedores de matéria-prima para as usinas de cana-de-açúcar é um aspecto crítico para a viabilidade econômica do negócio.

A seleção dos melhores fornecedores para um determinado produto ou serviço é uma atividade crucial nas empresas atualmente, desempenhando um papel fundamental na gestão eficaz da cadeia de suprimentos. De acordo com Ghodsypour e O'Brien (2001), a escolha adequada de fornecedores pode resultar em redução significativa de custos e aumentar a competitividade da empresa no mercado. No entanto, essa tarefa pode ser complexa, uma vez que envolve critérios tanto quantitativos, como preço, quanto qualitativos, como a qualidade do serviço e o relacionamento com as empresas.

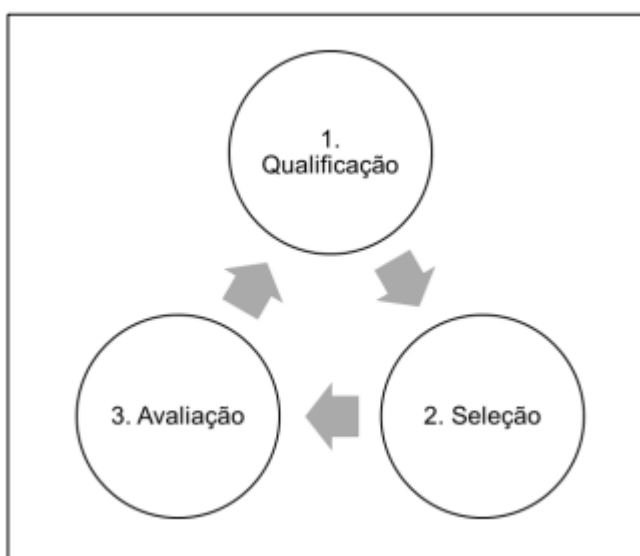
Dickson (1966) conduziu um estudo com mais de cento e setenta entrevistados para identificar os critérios relevantes na seleção de fornecedores. Seu estudo revelou que as empresas de sucesso utilizam vinte e três critérios para a seleção e avaliação de fornecedores sendo eles: Qualidade, Entrega, Performance histórica, Garantias e Políticas de devolução, Capacidade produtiva, Preço, Capacidade Técnica, Posição Financeira, Compliance processual, Sistema de comunicação, Reputação e posição no mercado, Desejo de negócio, Gestão e organização, Controles operacionais, Serviços de reparo, Atitude, Impressão, Habilidade de embalagem, Histórico trabalhista, Localização geográfica, Volume de negócio histórico, Treinamento e Combinados recíprocos. Cohen e Rousell (2004) afirmam que as organizações estão cada vez mais buscando ferramentas que auxiliem o processo de tomada de decisão, evidenciando a necessidade de desenvolver um modelo capaz de integrar e otimizar todos esses critérios de maneira satisfatória.

Diversos métodos foram desenvolvidos empiricamente para resolver esses desafios, cada um com objetivos e focos distintos. Maloni e Benton (1997) descrevem uma série de oportunidades em que as empresas podem utilizar a pesquisa operacional na gestão da cadeia de suprimentos, resultando em produtos e serviços de melhor qualidade, custos mais baixos e desenvolvimento mais rápido. Essas oportunidades incluem a seleção de fornecedores, definição do tamanho do lote e elaboração de planos de produção.

Segundo Ávila et al. (2012), o problema de seleção de fornecedores, conhecido como *Supplier Selection Problem* (SSP), é a segunda etapa de um processo composto por três fases: qualificação, seleção e avaliação (Ver figura 1). Por ser um processo contínuo, sujeito a mudanças nos parceiros envolvidos, ele pode ser considerado dinâmico.

O processo tem início com a fase de qualificação, na qual os fornecedores devem atender aos requisitos básicos estabelecidos pela empresa, como cumprir regulamentações ou obter certificações. Após essa filtragem inicial, os fornecedores são comparados com base em critérios estabelecidos pela empresa contratante, conforme mencionado anteriormente. Após a seleção e contratação dos fornecedores, a terceira etapa do processo se inicia, que é a avaliação. No entanto, essa etapa não é o fim do processo como um todo, mas apenas conclui um ciclo, pois o processo é contínuo e as informações obtidas nessa fase serão utilizadas na próxima etapa de qualificação de fornecedores, reiniciando o ciclo. Como a figura 1 abaixo:

Figura 1- - Processo dinâmico de seleção de fornecedores



Fonte: (ÁVILA et al., 2012)

Um dos principais enfoques na seleção de fornecedores é a programação matemática, na qual o problema é formulado por meio de um modelo com função objetivo e restrições, buscando minimizar ou maximizar determinadas variáveis. Gaballa (1974) foi um dos pioneiros a aplicar programação matemática na seleção de fornecedores, utilizando um modelo de programação linear inteira mista para resolver um problema de minimização de custos com fornecedores dos correios australianos, levando em consideração a capacidade dos fornecedores e a demanda.

Nesse sentido, a pesquisa operacional surge como uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão em relação à seleção dos fornecedores.

Ao longo dos anos, outros autores publicaram métodos adicionais de pesquisa operacional aplicados à seleção de fornecedores. Anthony e Buffa (1977) desenvolveram um modelo com objetivo único para auxiliar o processo de compra de fornecedores dentro de um intervalo de tempo específico. Buffa e Jackson (1983) apresentaram um modelo multicritério para a seleção de fornecedores, considerando tanto atributos quantitativos quanto qualitativos do fornecedor, bem como requisitos da empresa compradora.

Turner (1988) desenvolveu um programa matemático para a British Coal, empresa de carvão britânica, que também minimizava o custo total de compra considerando a capacidade do fornecedor, as quantidades mínimas e máximas de pedido, a demanda e as características regionais.

Bender et al. (1985) resolveram um problema semelhante para a International Business Machines (IBM), aplicando um programa que visava minimizar simultaneamente os custos de estoque, compra e transporte para n períodos, porém não forneceram a formulação matemática final.

Uma evolução desse modelo foi proposta por Pan (1989), que considerou a possibilidade de dividir a demanda entre os fornecedores para garantir o fornecimento de produtos/serviços ao comprador, diminuindo o risco operacional de escassez. O autor incluiu o custo como função objetivo, enquanto o nível de serviço e a qualidade foram tratados como restrições na modelagem.

Chaudhry et al. (1993) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista semelhante para a seleção de fornecedores, considerando custos fixos e variáveis de compra como função objetivo, além de impor restrições de qualidade e capacidade dos fornecedores.

Rosenthal et al. (1995) propuseram um modelo de programação linear inteira mista para resolver um problema de seleção de fornecedores de um conjunto de produtos, no qual as capacidades, qualidade e preços dos fornecedores variavam. Nesse caso, foi utilizada uma única função objetivo para a resolução.

Ghodsypour e O'Brien (2001) desenvolveram um modelo de seleção de fornecedores em dois estágios. No primeiro estágio, propuseram um modelo de seleção com o objetivo de minimizar o custo logístico total da empresa, incluindo preço total, custos de estoque e pedidos, levando em conta as restrições de capacidade do fornecedor e a demanda do comprador (quantidade e qualidade). Em seguida, os autores exploraram diferentes funções objetivas que poderiam ser consideradas com pesos distintos para resolver problemas semelhantes.

Firouz, Keskin e Melouk (2017) abordaram um problema de seleção de fornecedores em uma empresa com um único produto que necessitava de transbordo entre múltiplos centros de distribuição. Os estoques dos centros de distribuição eram reabastecidos pelos fornecedores selecionados com base em um modelo que considerava preço, capacidade e qualidade.

Após analisar as soluções propostas pelos autores citados acima, em seguida será apresentado o modelo matemático de programação linear desenvolvido para seleção dos fornecedores neste caso.

A formulação do modelo utiliza o ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) critérios de Qualidade e Performance Histórica. É válido ressaltar que as restrições atingem os critérios Preço, Capacidade Produtiva, Entrega e Combinados Recíprocos (ver Quadro 1).

O ATR (Açúcar Total Recuperável) é uma das principais medidas de qualidade utilizadas na avaliação da cana-de-açúcar. Ele é obtido por meio de análises laboratoriais que visam medir a qualidade da cana. O ATR, de forma resumida, representa a quantidade de quilogramas de açúcar que pode ser extraída de uma tonelada de cana.

Para exemplificar, em uma área onde a cana analisada apresenta um ATR de 115, significa que é possível obter 115 quilogramas de açúcar a partir de uma tonelada dessa cana. Dessa forma, o ATR proporciona uma estimativa da quantidade de açúcar que pode ser extraída de uma determinada quantidade de cana.

O cálculo do ATR é feito por uma fórmula que combina os valores de PC(POL % CANA) e ARC (Açúcares redutores presentes na cana). Esses valores são obtidos a partir de fórmulas que levam em consideração resultados de análises laboratoriais específicas da cana-de-açúcar. Em seguida, os valores são inseridos na fórmula para determinar o teor de ATR presente na amostra. Vale ressaltar que as normas para essas análises são determinadas pelo CONSECANA-SP (Conselho dos Produtores de Cana de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo), garantindo a padronização dos procedimentos. Além do ATR, outras medidas são obtidas a partir dessas análises, tais como BRIX, POL, PC, FIBRA, AR e ATR. Essas medidas fornecem informações adicionais sobre a composição química da cana-de-açúcar, auxiliando no monitoramento da qualidade e na tomada de decisões relacionadas à produção açucareira(CONSECANA; 2007). Com base no ATR, é possível determinar a rentabilidade da produção e minimizar os custos de processamento.

Nesse contexto, o objetivo desta monografia é avaliar a aplicação da pesquisa operacional na escolha dos fornecedores em uma usina de cana-de-açúcar, com base no critério do ATR. Para tanto, será realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, seguida da aplicação prática da metodologia em um estudo de caso. Espera-se que os resultados obtidos possam

contribuir para aprimorar a gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético, possibilitando maior eficiência e competitividade às empresas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nesse contexto, a escolha dos fornecedores de matéria-prima para as usinas de cana-de-açúcar é um aspecto crítico para a viabilidade econômica do negócio.

No entanto, a escolha dos fornecedores de cana-de-açúcar pode ser uma tarefa complexa, envolvendo diversos critérios e restrições. Além disso, a escolha inadequada pode gerar impactos negativos na produção, aumentando os custos e reduzindo a eficiência do processo produtivo.

Ainda assim, apesar da relevância da pesquisa operacional e do critério do ATR na escolha dos fornecedores, são poucos os estudos que avaliam a aplicação dessa metodologia na gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético. Nesse sentido, a presente monografia tem como objetivo contribuir para aprimorar a gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético, através da avaliação da aplicação da pesquisa operacional na escolha dos fornecedores com base no critério do ATR.

Com base nos fatores apresentados, a viabilidade do estudo é perceptível. A confiabilidade dos dados fornecidos pela empresa e a disponibilidade do software SOLVER da Frontline Systems, Inc de programação linear para execução dos modelos são essenciais para a construção de um modelo viável (FERNANDES, 2016).

No cenário econômico nacional, o setor de cana-de-açúcar apresenta grande importância. A construção do modelo proposto implica em um melhor uso dos recursos disponíveis na usina, o que pode levar a uma produção mais eficiente. Além disso, a ferramenta desenvolvida pode ser aplicada em outras usinas, o que amplia seu potencial de utilização (CANTARELLA et al., 2016).

Todos esses fatores citados acima demonstram a relevância do estudo. Por meio da função objetivo, será possível determinar os melhores fornecedores, o que permitirá uma produção mais eficiente de açúcar com um menor custo (BALDISSERA et al., 2017).

Assim, a realização deste trabalho justifica-se pela necessidade de aprimorar a gestão da cadeia de suprimentos no setor sucroenergético, visando aumentar a eficiência, a competitividade e a sustentabilidade das empresas do setor.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa proposto visa avaliar a aplicação da pesquisa operacional na escolha dos fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR em uma usina de cana-de-açúcar, com o objetivo de aumentar a eficiência e a competitividade do processo produtivo. A escolha adequada dos fornecedores é crítica para a viabilidade econômica das usinas, mas pode ser uma tarefa complexa, envolvendo múltiplos critérios e restrições. O uso da pesquisa operacional, por meio de modelos matemáticos e algoritmos, pode ajudar a determinar a melhor combinação de fornecedores com base em critérios objetivos e relevantes para o processo produtivo. O ATR é um desses critérios, sendo um indicador importante da qualidade da matéria-prima. A pesquisa proposta tem o objetivo de contribuir para o aprimoramento da tomada de decisão na escolha dos fornecedores e para o aumento da eficiência, competitividade e sustentabilidade das empresas do setor sucroenergético. É possível desenvolver um modelo para seleção de fornecedores com base no ATR?

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de programação linear para a seleção dos melhores fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR em uma usina de produção de açúcar.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre pesquisa operacional e seus métodos aplicados na cadeia de suprimentos da indústria sucroalcooleira;
- Coletar os dados necessários na usina, como histórico de produção e fornecedores atuais;
- Construir o modelo de programação linear para seleção dos fornecedores com base no ATR;
- Analisar os resultados obtidos com o modelo proposto e comparar com a situação atual da usina;
- Validar o modelo proposto e sugerir possíveis melhorias para sua aplicação em outras usinas.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Algumas delimitações podem ser destacadas. A primeira é que o estudo será realizado em uma usina específica de produção de açúcar, localizada na região nordeste do Brasil. A segunda é que serão considerados apenas os fornecedores de cana-de-açúcar dentro de um parâmetro de no mínimo 120 kg de ATR. A terceira é que o modelo de programação linear será desenvolvido utilizando o software OpenSolver.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, levando-se em consideração as atividades necessárias para alcançar os objetivos definidos na seção 1.3:

- O Capítulo 1, no qual é apresentada a temática abordada no estudo. É formado pela introdução, justificativa, problema de pesquisa, viabilidade, objetivos gerais e específicos, delimitação do estudo e uma definição dos capítulos do trabalho;
- O capítulo 2 demonstra uma revisão da literatura como suporte teórico ao tema desenvolvido, abordando sobre conceitos e indicações relacionados a pesquisa, como: Estudo da Cana – de – Açúcar e o Conceito de Programação Linear;
- No Capítulo 3, os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento do trabalho são apontados. Nesta etapa é caracterizada a empresa, conceitos básicos, a função objetivo e as restrições;
- O capítulo 4 descreve o processo de avaliação e discussão dos resultados obtidos;
- No Capítulo 5, finalmente, são apresentadas as considerações finais juntamente com as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros. Nesta etapa, também são indicadas as contribuições científicas e limitações impostas pelo estudo;

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo será abordado informações relevantes sobre o setor sucroalcooleiro no Brasil, tais como os desafios, oportunidades e perceptivas para o futuro. Também serão trabalhados conceitos relacionados a tomada de decisão, programação linear, modelagem e resolução de problemas.

2.1 REVISÃO DO ESTUDO DA CANA-DE-AÇÚCAR

2.1.1 Breve histórico da Agroindústria Sucroalcooleira

Tendo se iniciado no século XVI, o complexo agroindustrial é uma das mais antigas atividades econômicas do Brasil. Nela, o cultivo da cana de açúcar se tornou a primeira atividade produtiva organizada pelo colonizador português (SHIKIDA, 1998). Até o início do século XVIII, a atividade era dominante dentre as demais culturas (SHIKIDA, 1998). A estagnação do setor açucareiro nacional perdurou durante o século XIX quando, como fator agravante da crise, foi viabilizada a produção de açúcar de beterraba pelos países europeus. Durante o século XX, o Brasil se manteve periférico em termos da participação global no mercado internacional deste produto mesmo com a transformação dos antigos engenhos em usinas de açúcar. Assim, a sobrevivência do setor dependia apenas do mercado interno, sendo a exportação apenas uma forma de escoar a produção doméstica excedente (SHIKIDA, 1998).

Após a Revolução de 1930 e a crise de 1929, o Estado brasileiro passou a intervir na agroindústria canavieira por meio do Decreto nº 22.789, de 1 de julho de 1933, que instituiu o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) como uma entidade autárquica responsável pelo planejamento e intervenção na economia do setor. Tal intervenção foi motivada pela pressão dos produtores, que enfrentavam a ameaça de ruína devido à superprodução, queda do preço interno e das exportações. Dessa forma, representantes dos usineiros, proprietários de engenhos e fornecedores de cana recorreram ao Estado para solicitar sua intervenção. (SHIKIDA, 1998).

Na década de 1960, o governo brasileiro lançou o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), que visava à substituição da gasolina pelo álcool como combustível para veículos automotores. Esse programa representou uma grande transformação na economia açucareira do país, uma vez que a produção de álcool se tornou uma nova fonte de renda para as usinas de açúcar. Além disso, o Proálcool incentivou a modernização das usinas, com investimentos em tecnologia e pesquisa para aumentar a eficiência e a produtividade da produção de álcool e

açúcar. Como resultado, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de açúcar e etanol (BIODISELBR,2006).

Entretanto, esse programa também gerou impactos ambientais e sociais, como o aumento do desmatamento para a expansão da produção de cana-de-açúcar e a exploração de mão de obra em condições precárias.

Durante a década de 1960 e início dos anos 1970, o mercado internacional do açúcar permaneceu aquecido. No entanto, por ser um produto básico da economia, era esperado que após um período de elevação de preços, eles viessem a declinar com a entrada de novos produtores e a expansão da área e escala de produção das unidades já existentes, estimuladas pela maior lucratividade. Essas tendências se manifestaram em 1975, quando houve uma forte queda no preço do açúcar no mercado internacional. Essa queda também foi associada à crise econômica mundial na segunda metade dos anos 1970, que incluiu o primeiro choque do petróleo (MOREIRA,2008).

Devido à dependência da economia brasileira em relação ao petróleo, tornou-se necessário buscar alternativas energéticas que pudessem substituir o óleo mineral natural. Foi nesse contexto que o Programa Nacional do Álcool, conhecido como Proálcool ou PNA, foi criado com o objetivo de solucionar os problemas energéticos do país na década de 1970. O Proálcool foi instituído por meio do Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975, inicialmente com o propósito de produzir etanol anidro para mistura nos carros a gasolina.

Desde a sua criação, o Proálcool recebeu um forte apoio do governo, que viabilizou o programa por meio de financiamentos, subsídios e incentivos ao preço do etanol. Entre 1975 e 1980, foram investidos cerca de US\$ 1,02 bilhão no programa, sendo 75% provenientes de recursos públicos e 25% de recursos privados (SHIKIDA, 1998). Os instrumentos básicos para a implementação do Proálcool consistiam na determinação de preços remunerados ao etanol, pela paridade com o preço do açúcar; na garantia da compra do produto pela Petrobrás; e na criação de linhas de crédito para o financiamento das partes agrícolas e industriais (SHIKIDA, 1998).

No entanto, a partir de 1985, o programa começou a enfrentar uma crise, com a diminuição dos investimentos. Entre 1985 e 1990, foram investidos cerca de US\$ 511 milhões, dos quais 39% provenientes de capital público e 61% de capital privado. A partir da safra de 1986/87, começou a surgir uma crise no abastecimento de etanol.

Após um período fértil para o Proálcool, no ano de 1985, uma fase de crise começou pela diminuição dos investimentos no Programa. Entre 1985 e 1990 foram investidos cerca de

US\$ 511 milhões, dos quais 39% provenientes de capital público e 61% de capital privado. A partir da safra de 1986/87 começa a despontar a crise no abastecimento de etanol.

As características estruturais básicas do complexo canavieiro nacional, no início dos anos 1990, herdadas da longa fase de planejamento e controle estatal, podem ser assim resumidas: produção agrícola e fabril sob controle das usinas, heterogeneidade produtiva (especialmente na industrialização da cana), baixo aproveitamento de subprodutos e competitividade fundamentada, em grande medida, nos baixos salários e na expansão da produção. As diferenças técnicas eram enormes quando se comparava a região Norte-Nordeste com a Centro-Sul e, mesmo dentro das regiões, existiam diferenças acentuadas de produtividade e escala de produção. (BELIK; VIAN, 2002).

Para entender a situação do setor, a desregulamentação do setor sucroalcooleiro brasileiro também deve ser levada em consideração. Inicialmente, ocorreu a liberação do preço do açúcar em dezembro de 1991. Em maio de 1997 iniciou-se a desregulamentação dos preços do etanol anidro e, em fevereiro de 1999, a liberação dos preços do etanol hidratado e da cana. (BELIK; VIAN, 2002).

Em decorrência de toda essa situação desfavorável ao setor, os empresários sentiram a necessidade de avaliar o modo de produção agrícola e industrial e encontraram técnicas para diminuir os custos e aumentar o lucro. Neste posicionamento da agroindústria canavieira, tem-se observado a introdução de novas tecnologias e inovações organizacionais para tornar o açúcar e o etanol mais competitivos e também explorar as novas opções para uso dos seus subprodutos.

2.1.2 O Setor Sucroalcooleiro no Brasil

O setor sucroalcooleiro é uma atividade econômica estratégica para o Brasil, sendo responsável por uma significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) do país e por uma grande quantidade de empregos diretos e indiretos. A indústria sucroalcooleira brasileira é uma das mais importantes do mundo, sendo líder global na produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar (NACHILUK, 2021).

A produção de açúcar e etanol no Brasil tem aumentado significativamente nas últimas décadas, tornando o país líder mundial na produção desses produtos. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de açúcar no Brasil em 2020 foi de cerca de 37 milhões de toneladas, enquanto a produção de etanol foi de

aproximadamente 30 bilhões de litros. Esses números são resultado de uma cadeia produtiva complexa e diversa, envolvendo diversos atores, como produtores rurais, usinas de processamento, fornecedores de insumos e equipamentos, e distribuidores de produtos finais.

Nesse contexto, os fornecedores são peças-chave para a cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro no Brasil, uma vez que são responsáveis pelo suprimento de diversos insumos e serviços essenciais para a produção de açúcar e etanol. Entre os principais fornecedores para o setor sucroalcooleiro, destacam-se aqueles que fornecem cana-de-açúcar, insumos agrícolas, equipamentos industriais e tecnologias para aprimorar os processos produtivos.

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima utilizada na produção de açúcar e etanol, e sua produção é realizada por meio de contratos de parceria agrícola entre produtores rurais e usinas de processamento. Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), em 2020, foram realizados cerca de 59 mil contratos de parceria agrícola no setor sucroalcooleiro no Brasil. Esses contratos estabelecem as condições de fornecimento de cana-de-açúcar, incluindo preços, prazos e critérios de qualidade.

Além disso, os fornecedores de insumos agrícolas, como fertilizantes, defensivos e sementes, são fundamentais para garantir a qualidade e a produtividade da cana-de-açúcar. De acordo com a Associação Nacional dos Distribuidores de Insumos Agrícolas e Veterinários (ANDAV), o mercado de insumos para o setor sucroalcooleiro movimentou cerca de R\$ 10 bilhões em 2019.

Os fornecedores de equipamentos industriais e tecnologias também têm papel fundamental no setor sucroalcooleiro brasileiro, uma vez que contribuem para a modernização e otimização dos processos produtivos.

2.1.3 Açúcar

O açúcar é um dos principais produtos agrícolas do Brasil e representa uma importante fonte de renda para o país. No entanto, o mercado do açúcar tem passado por mudanças significativas nos últimos anos, e é importante entender as perspectivas para o futuro do açúcar no Brasil.

2.1.3.1 Desafios para o Setor

O setor do açúcar no Brasil enfrenta diversos desafios, incluindo a queda na demanda internacional e o aumento da competição com outros países produtores de açúcar, como a Índia

e a Tailândia. Além disso, a pressão por práticas mais sustentáveis na produção de açúcar tem aumentado, o que pode afetar a competitividade do setor (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2021).

Outro desafio para o setor do açúcar no Brasil é a crescente preocupação com a saúde e o bem-estar, o que tem levado a uma redução no consumo de açúcar em alguns países. Isso pode afetar a demanda global por açúcar e, consequentemente, os preços do produto (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2021).

2.1.3.2 Oportunidades para o Setor

Apesar dos desafios, o setor do açúcar no Brasil também apresenta diversas oportunidades. Uma delas é o aumento da demanda por biocombustíveis, especialmente o etanol produzido a partir do açúcar. O Brasil é um dos maiores produtores de etanol do mundo e tem uma grande vantagem competitiva nesse mercado, graças à sua experiência na produção de açúcar e à sua infraestrutura de produção de biocombustíveis (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2021).

Além disso, a produção de açúcar orgânico e sustentável tem se mostrado uma oportunidade para o setor, especialmente para atender à crescente demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis. O Brasil possui condições climáticas favoráveis para a produção de açúcar orgânico e tem investido em práticas mais sustentáveis na produção de açúcar (USDA, 2021).

2.1.3.3 Perspectivas para o futuro do açúcar no Brasil

Diante dos desafios e oportunidades para o setor do açúcar no Brasil, é possível identificar algumas perspectivas para o futuro do setor. Uma delas é a tendência de diversificação da produção, com a produção de etanol se tornando cada vez mais importante para o setor. Além disso, a produção de açúcar orgânico e sustentável deve se tornar uma importante fonte de renda para o setor, atendendo à crescente demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis.

Outra perspectiva para o futuro do açúcar no Brasil é a necessidade de investimentos em tecnologia e inovação para aumentar a competitividade do setor. Isso inclui investimentos em práticas mais eficientes e sustentáveis na produção de açúcar, bem como em tecnologias para reduzir custos e aumentar a produtividade. Isso inclui investimentos em práticas mais

eficientes e sustentáveis na produção de açúcar, bem como em tecnologias para reduzir custos e aumentar a produtividade.

Além disso, é importante que o setor do açúcar no Brasil continue a buscar novos mercados e oportunidades de exportação, especialmente em países onde a demanda por biocombustíveis e alimentos sustentáveis está em alta.

O açúcar é um produto agrícola importante para o Brasil, mas o setor enfrenta desafios significativos, incluindo a queda na demanda internacional e a pressão por práticas mais sustentáveis na produção. No entanto, também existem oportunidades para o setor, como a produção de etanol e açúcar orgânico e sustentável, bem como a busca por novos mercados e oportunidades de exportação. Para garantir um futuro sustentável para o setor do açúcar no Brasil, é importante que as empresas do setor invistam em tecnologia e inovação e adotem práticas mais eficientes e sustentáveis na produção.

2.2 REVISÃO DO CONCEITO DE PESQUISA OPERACIONAL

O conceito de pesquisa operacional é a aplicação de técnicas matemáticas para resolver problemas reais em diversas áreas, incluindo a administração de empresas, engenharia e economia. De acordo com Angeloni (2003), a pesquisa operacional teve origem na área militar para o cálculo de suprimentos e armas, mas sua aplicabilidade na área civil aumentou após a Segunda Guerra Mundial.

Existem dois tipos de problemas determinísticos na pesquisa operacional: problemas de programação linear e problemas de programação não-linear. Os problemas de programação linear envolvem a otimização de uma função linear sujeita a restrições lineares. Já os problemas de programação não-linear são mais complexos, pois envolvem funções não-lineares e são resolvidos por meio de métodos de otimização mais avançados.

Os modelos de programação linear podem ser resolvidos por métodos como o método do gráfico, o algoritmo Simplex ou softwares específicos de programação. A utilização de modelos de programação linear pode trazer muitos benefícios para a tomada de decisão em uma organização, como a maximização do lucro, minimização dos custos, alocação de recursos e gestão de estoques.

Para desenvolver um modelo de programação linear, é necessário identificar o problema, definir as variáveis envolvidas, estabelecer as restrições e a função objetivo. O processo de resolução envolve a aplicação do algoritmo simplex para encontrar a solução ótima do problema.

Além disso, é importante ressaltar que a pesquisa operacional é uma área em constante evolução, com novas técnicas e métodos sendo desenvolvidos para lidar com problemas cada vez mais complexos. Portanto, é fundamental manter-se atualizado com as últimas tendências e avanços na área para garantir a efetividade das soluções propostas.

2.2.1 O processo de tomada de decisão

Ao tomar uma decisão, é essencial contar com subsídios como dados, informações e conhecimento, conforme definição de Angeloni (2003). Dados são elementos brutos, sem significado e desvinculados da realidade, enquanto informações são dados dotados de significado, apresentando relevância e propósito. Já o conhecimento é considerado como a informação processada pelo indivíduo, convertida em um conjunto de ações a serem implementadas.

No entanto, segundo Lachtermacher (2006), a identificação e organização de dados encontrados no ambiente de decisão atual é uma tarefa complexa e desafiadora. Além disso, os conhecimentos necessários para uma tomada de decisão muitas vezes estão dispersos, fragmentados e armazenados na mente de especialistas, sujeitos à interferência de seus modelos mentais.

Nesse contexto, a utilização de modelos computacionais surge como uma alternativa para lidar com situações nas quais existem propostas conflitantes e concorrentes, nas quais a opção usual seria somente o uso de um modelo mental preexistente no especialista. Conforme definição de Simon (1977), modelos são representações simplificadas da realidade, criadas para permitir uma compreensão mais clara e precisa de um problema específico.

Esses modelos podem ser matemáticos, estatísticos ou computacionais, e têm como objetivo ajudar no processo de tomada de decisão ao fornecer uma representação mais clara e precisa da realidade. Para isso, é necessário que os modelos estejam baseados em relações matemáticas e hipóteses lógicas que sejam capazes de descrever a situação real de forma simplificada.

Dessa forma, é possível perceber a importância da construção de modelos computacionais para a tomada de decisão em situações complexas. A utilização de ferramentas computacionais permite a análise de um grande volume de dados, tornando possível a identificação de padrões e tendências que poderiam passar despercebidos pelos especialistas. Além disso, essas ferramentas podem auxiliar na elaboração de cenários e simulações que permitem avaliar o impacto de diferentes decisões em um determinado contexto.

2.2.2 Revisão do conceito de programação linear

A programação linear é uma técnica de otimização que tem como objetivo a maximização ou minimização de uma função linear, sujeita a um conjunto de restrições lineares. Segundo Caixeta Filho (2004), essa técnica é um aprimoramento da resolução de sistemas de equações lineares, com a adição de uma equação linear representativa do comportamento a ser otimizado.

Para a formulação do problema de programação linear, é necessário seguir alguns passos básicos, conforme explica Caixeta Filho (2004). O primeiro passo é definir claramente o objetivo de otimização a ser alcançado, que deve ser único. Por exemplo, o objetivo pode ser maximizar o lucro, a eficiência ou o bem-estar social, ou ainda minimizar os custos, os tempos ou as perdas. Esse objetivo será representado por uma função objetivo linear, que será maximizada ou minimizada.

É importante destacar que a programação linear é uma técnica matemática estabelecida por G. B. Dantzig em 1947 para ajudar a resolver problemas de logística da Força Aérea Americana. Posteriormente, Angeloni (2003) apresentou o Método Simplex para generalizar os procedimentos de solução aplicada a grande número de variáveis e restrições. Esse método fornece a solução exata a qualquer problema de programação linear e tem a capacidade de indicar se o problema possui solução, se não tem solução ou se tem infinitas soluções.

É importante ressaltar que a programação linear é uma técnica amplamente utilizada em diversas áreas, como na produção, na logística, na economia, entre outras. Além disso, existem outras técnicas de otimização, como a programação inteira, a programação não-linear e a programação dinâmica, que podem ser utilizadas em problemas mais complexos (GOMES; OLIVEIRA, 2018).

2.2.3 O processo de modelagem

Em muitas situações, tomadores de decisão se deparam com a difícil tarefa de escolher entre alternativas concorrentes e conflitantes. Nesses casos, duas opções podem ser adotadas: utilizar a intuição gerencial ou realizar um processo de modelagem da situação e realizar simulações para avaliar as diferentes possibilidades. Segundo Alves et al. (2020), a primeira opção era, até recentemente, a única alternativa viável, já que muitas vezes não havia dados e

informações confiáveis disponíveis e o poder computacional não era suficiente para resolver os problemas. No entanto, com o aprimoramento da tecnologia e o surgimento dos microcomputadores, a segunda opção passou a ser uma alternativa viável e cada vez mais utilizada pelos tomadores de decisão.

De acordo com Lachtermacher (2006), atualmente, muitos gerentes têm mudado a forma de agir e utilizado modelos para auxiliar o processo decisório, principalmente devido à complexidade dos fatores envolvidos e ao grande número de variáveis. No entanto, muitos tomadores de decisão ainda deixam de utilizar sua intuição e conhecimento intrínseco ao processo, o que pode levar a soluções inadequadas.

Um dos motivos para a mudança no comportamento dos gerentes é o excesso de informações disponíveis, especialmente com a popularização da internet. Segundo Alvarenga et al. (2019), o grande volume de informações pode dificultar a escolha daquelas mais relevantes e necessárias para a modelagem da situação. Nesse sentido, a utilização de modelos pode ajudar a organizar e filtrar as informações, tornando-as mais úteis para a tomada de decisão.

No entanto, é importante destacar que o conhecimento e experiência do tomador de decisão ainda são fundamentais para a geração de cenários e análise das soluções encontradas. Conforme ressaltado por Nascimento et al. (2018), a modelagem deve ser utilizada como uma ferramenta para apoiar e complementar a intuição do tomador de decisão, e não como uma substituta.

Portanto, a modelagem da situação pode ser uma alternativa útil para auxiliar o processo decisório, desde que o conhecimento e experiência do tomador de decisão sejam considerados. É importante que os tomadores de decisão saibam como utilizar os modelos e simulações de forma adequada para não negligenciar a sua intuição e experiência profissional.

2.2.4 Processo de Resolução de um Problema

O processo de resolução de um problema apresenta cinco etapas consecutivas que podem se repetir dependendo da situação. Cada uma das etapas é essencial para o processo, e é importante ressaltar que a qualidade do resultado final depende da qualidade de cada uma das etapas.

A primeira etapa é a identificação do problema. Essa etapa é crucial para o sucesso do processo de resolução de problemas, pois uma definição inadequada do problema pode levar a

uma solução incorreta ou inadequada para a situação em questão. Por isso, é importante dedicar tempo e esforço para identificar e definir corretamente o problema.

A segunda etapa é a formulação dos modelos. Nessa etapa, é necessário selecionar os dados relevantes e necessários obtidos na identificação do problema e montar o modelo do problema em si. É importante ter em mente que o modelo deve refletir a realidade da situação em questão, para que a solução encontrada seja adequada.

A terceira etapa é a análise de cenários. Nessa etapa, é importante considerar as incertezas e variações possíveis para a situação em questão e gerar cenários que reflitam essas possibilidades. É importante que o usuário ou operador do software tenha experiência e conhecimento prévio sobre o problema para gerar cenários que sejam contundentes e reflitam a realidade.

A quarta etapa é a interpretação de resultados. Nessa etapa, é necessário analisar os resultados das iterações feitas e julgar se a decisão tomada é correta ou conveniente. É importante avaliar se a solução encontrada é consistente com a realidade e se atende aos objetivos definidos na primeira etapa.

Por fim, a última etapa é a implementação e monitoramento. Como a situação em questão apresenta variáveis que se transformam e precisam ser avaliadas rotineiramente, é necessário adequar as variáveis e restrições para manter a solução do problema sempre atualizada e contundente com a realidade.

A difusão da técnica de programação linear foi bastante rápida, principalmente com o advento do computador. O uso da PL permitiu alcançar um considerável aumento na eficiência dos recursos dos processos de produção. Sem dúvida, é a técnica de otimização mais empregada na indústria, no comércio, na agricultura e no setor público, chegando a render um prêmio Nobel na área de Economia, em 1975, na resolução de um problema econômico de alocação de recursos.

2.2.5 Fundamentos da programação Linear

O método consiste em uma técnica matemática que permite otimizar problemas que possuam uma função objetivo linear e um conjunto de restrições também lineares. Para tornar o método aplicável a problemas com grande número de variáveis e restrições, Angeloni (2003) apresentou uma técnica, que é capaz de fornecer a solução exata para qualquer problema de Programação Linear, além de indicar se o problema é solúvel, insolúvel ou possui soluções infinitas.

Com o advento dos computadores, a difusão da técnica de Programação Linear foi bastante rápida. Seu uso permitiu um aumento considerável na eficiência dos recursos dos processos de produção, tornando-se a técnica de otimização mais empregada na indústria, comércio, agricultura e setor público (LOPES, 2005). Tãmanha é sua importância que em 1975, um prêmio Nobel foi concedido a Leonid Kantorovich e Tjalling Koopmans pelo desenvolvimento da teoria de Programação Linear e sua aplicação na resolução de problemas econômicos de alocação de recursos (NOBELPRIZE.ORG, 1975).

Assim, é inegável que a Programação Linear é uma técnica fundamental para otimizar processos e recursos em diversos setores da economia, tornando-se uma ferramenta indispensável para o sucesso de empresas e organizações em todo o mundo. Na figura 2 abaixo vamos ver um problema de Programação Linear.

Figura 2- Problema de Programação Linear

$$\begin{array}{ll}
 \text{Otimizar:} & z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 \text{Sujeito a:} & \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right. \\
 \text{Onde:} & f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 & g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n, \text{ para } i = 1, \dots, m
 \end{array}$$

Fonte: Lachtermacher (2002)

As técnicas de otimização possuem uma estrutura simples para a representação do modelo, onde a função objetivo (Fo) busca maximizar ou minimizar o valor de z , as variáveis de decisão (x_1 a x_n) são os aspectos do problema que podem ser controlados e o conjunto de restrições representa as limitações dos recursos disponíveis ou exigências a serem controladas durante a resolução do problema.

No modelo de otimização, as inequações das restrições (g_1 a g_m) e seus valores (b_1 a b_m) são fundamentais para limitar a solução do problema. Os coeficientes c_1 a c_n são aplicados

em cada variável de decisão na função objetivo, enquanto a_{i1} a a_{in} são os coeficientes aplicados em cada variável de decisão nas inequações das restrições.

As soluções factíveis são aquelas que satisfazem o conjunto de restrições do problema, definindo a região onde todas as exigências são cumpridas. A solução ótima é aquela que melhor satisfaz o conjunto de restrições, dentre as soluções factíveis.

As técnicas de otimização são amplamente utilizadas em diversos setores, desde a gestão de estoques até a otimização de processos industriais.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICO

Nesse capítulo são abordados elementos relacionados a classificação da pesquisa, ATR, programação em solver e opensolver, função objetivo e restrições relacionadas problema de pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Silva e Menezes (2002) afirmam que a classificação de uma pesquisa pode ser determinada com base na abordagem do problema, na natureza do estudo, nos objetivos e nos procedimentos técnicos. Essas classificações são cruciais para proporcionar uma compreensão clara dos fundamentos e objetivos da pesquisa em questão.

As abordagens dos problemas podem ser classificadas como qualitativas ou quantitativas, diferindo-se em relação à natureza dos dados coletados e às análises aplicadas a eles. É amplamente reconhecido na literatura que essas duas abordagens se complementam (HORAN, 2010). O objetivo da pesquisa quantitativa é medir relações entre variáveis por associação e obter informações sobre determinada população. “As análises quantitativas são muito divulgadas e, nesse sentido, sua planificação geralmente necessita de menos explicações que as análises qualitativas” (CONTRANDRIOPOULOS et.al, 1994). Assim, a presente descrição utiliza como base a abordagem quantitativa para gerar os melhores resultados possíveis com enfoque mais considerável, e que baseia-se na análise dos dados fornecidos pela empresa e coletados com os fornecedores e atendendo a esses dados.

Quanto à natureza, a presente pesquisa possui uma classificação aplicada, voltada, à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica (GIL, 2010), buscando neste estudo, desenvolver um modelo de programação linear para a seleção dos melhores fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR em uma usina de produção de açúcar.

Conforme a finalidade, esta pesquisa caracteriza-se como descritiva, pois visa analisar os dados coletados da empresa para definir a seleção dos fornecedores. Gil (2010) destaca que a pesquisa descritiva, visa à identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com um determinado fenômeno ou processo, proporcionando novas visões sobre uma realidade já conhecida

Por sua vez, o procedimento técnico utilizado é um estudo de caso que consiste em uma abordagem de pesquisa que envolve uma análise detalhada e abrangente de um ou de poucos objetos de estudo. É amplamente utilizado com o intuito de explorar e descrever situações reais,

formular hipóteses, desenvolver teorias e explicar variáveis causais de fenômenos complexos (COELHO, 2020).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A organização em questão é uma empresa de pequeno porte que atua na fabricação de açúcar cristal branco e está localizada na zona rural do estado de Alagoas. O estado de Alagoas é reconhecido como um dos principais produtores de cana-de-açúcar do Nordeste brasileiro, sendo que as épocas de colheita da cana são compreendidas entre os meses de novembro e abril, especialmente para a Região Nordeste do país.

A produção da indústria sucroalcooleira, que tem como principais produtos o açúcar e o etanol, estão diretamente vinculados aos ciclos agrícolas da cana-de-açúcar, que é a matéria-prima principal do processo produtivo. É importante destacar que os períodos de maior produção estão intimamente relacionados com as fases de plantio, colheita e moagem da cana-de-açúcar, que são comumente denominadas como safras.

Como mencionado anteriormente, a organização localizada em Alagoas tem como foco principal a produção de açúcar cristal branco, cuja fabricação está condicionada às condições climáticas e às safras da cana-de-açúcar. A sua localização estratégica na zona rural do estado é um fator relevante para a obtenção da matéria-prima de qualidade, o que influencia diretamente na qualidade do produto final e na competitividade no mercado.

Além da localização estratégica da organização na zona rural do estado de Alagoas, é de extrema importância destacar a relevância da seleção de bons fornecedores para a obtenção de matéria-prima de qualidade na fabricação de açúcar cristal branco.

A seleção de fornecedores que atuam no segmento de produção de cana-de-açúcar é fundamental para garantir que a organização receba a matéria-prima adequada para a fabricação do produto final. Essa seleção deve levar em consideração diversos aspectos, tais como a qualidade da cana, a proximidade geográfica do fornecedor em relação à fábrica, o histórico de fornecimento e a capacidade produtiva.

A escolha de fornecedores confiáveis e com histórico de bons resultados é essencial para a obtenção de matéria-prima de qualidade, o que influencia diretamente na qualidade do açúcar produzido e na competitividade no mercado. Além disso, a seleção adequada de fornecedores contribui para a redução de custos e para a garantia de um fornecimento regular e pontual da matéria-prima.

Sendo assim, a escolha cuidadosa de fornecedores de matéria-prima é uma etapa crucial no processo produtivo da organização e pode ser determinante para o sucesso e a sustentabilidade do negócio.

3.3 CANA-DE-AÇÚCAR E FORMAÇÃO DO ATR

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae, caracterizada por ser uma gramínea perene, que possui uma grande capacidade fotossintética. É cultivada em mais de 100 países, sendo o Brasil o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar é uma cultura importante, pois além de ser utilizada para a produção de açúcar, é utilizada também para a produção de etanol, energia elétrica e outros produtos químicos.

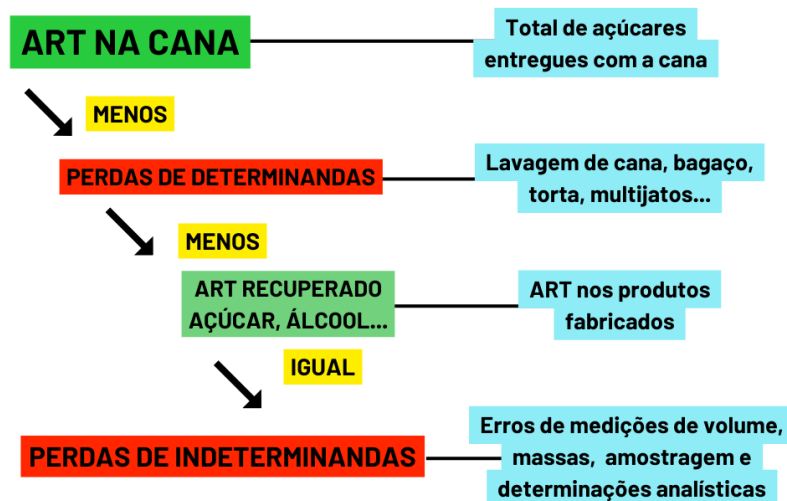
A cana-de-açúcar é composta por diversos elementos, como a fibra, a água, a sacarose, entre outros. A fibra é a parte da cana-de-açúcar que é utilizada para a produção de energia elétrica e é considerada um subproduto da indústria sucroalcooleira. A água é o elemento mais abundante na cana-de-açúcar, correspondendo a cerca de 70% a 80% do peso da planta. Já a sacarose é o açúcar presente na cana-de-açúcar, responsável pela produção do açúcar cristal e do etanol.

Além desses elementos, a cana-de-açúcar também é composta por diversos nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros, que são importantes para o seu desenvolvimento. Esses nutrientes são absorvidos pela planta através das raízes e são utilizados para a produção de novos tecidos, como as folhas e o caule.

A constituição da cana-de-açúcar varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta. Na fase vegetativa, a planta apresenta um maior teor de nitrogênio e um menor teor de sacarose, enquanto que na fase reprodutiva, a planta apresenta um menor teor de nitrogênio e um maior teor de sacarose.

A medida de produtividade essencial da cana-de-açúcar é o ATR, que indica a quantidade de açúcar em quilogramas em relação a uma tonelada de cana colhida. É uma medida final que leva em consideração as perdas do processo, sendo utilizada para o pagamento dos fornecedores de cana à usina e também como indicador de rendimento das variedades. No nosso estudo, o ATR é a função objetivo principal. A Figura 3 demonstra a relação entre o ATR e o ART.

Figura 3 - Obtenção de ATR



Fonte: Adaptado de Caderno Copersucar (1988)

A análise tecnológica da cana-de-açúcar desempenha um papel fundamental na avaliação da sua qualidade e eficiência na produção de açúcar e etanol. O ATR, sendo um parâmetro importante, indica a quantidade de açúcares presentes na cana-de-açúcar que podem ser convertidos em açúcar e etanol durante o processamento.

O ATR é a soma de todos os açúcares solúveis presentes na cana-de-açúcar, expressa como uma porcentagem da matéria seca. Esse parâmetro é utilizado como indicador da qualidade da cana-de-açúcar, pois a quantidade de açúcares presentes na cana está diretamente relacionada à quantidade de açúcar e etanol que pode ser produzida.

A análise do ATR é realizada em laboratórios utilizando equipamentos específicos, como o refratômetro, que mede o índice de refração da solução de cana-de-açúcar. Com base nesse valor, é possível calcular o ATR.

A importância da análise do ATR na cana-de-açúcar é evidente, uma vez que ela impacta diretamente na produtividade e rentabilidade da usina. Uma cana com alto teor de ATR tem o potencial de produzir mais açúcar e etanol, aumentando a eficiência do processo produtivo e a rentabilidade da usina.

A descrição anterior apresenta os processos envolvidos na fabricação de açúcar e etanol e destaca as perdas de rendimento que ocorrem ao longo desse processo. A seguir, será apresentado um fluxograma detalhado do processo de fabricação (Figura 4), destacando o momento em que ocorrem as perdas de rendimento.

Figura 4 - Formação do Índice de ATR



Fonte: Adaptado de Caderno Copersucar (1988)

Por outro lado, é importante considerar as perdas que ocorrem ao longo do processo de produção. A premissa adotada em nosso estudo é que existem perdas de 12%, que podem ocorrer durante a etapa de lavagem da cana, no aproveitamento do bagaço, na formação da torta e em outros fatores que não podem ser determinados de forma precisa.

Dessa forma, o índice ATR é utilizado como base para calcular o rendimento máximo do canavial, levando em consideração tanto as perdas determinadas quanto as perdas indeterminadas do processo. Esse índice proporciona uma estimativa mais precisa do rendimento final, considerando as perdas que ocorrem ao longo das etapas de produção.

A análise regular e rigorosa do ATR é fundamental para avaliar a qualidade da cana-de-açúcar e maximizar a produção de açúcar e etanol. A garantia de uma análise consistente contribui para a qualidade e rentabilidade da usina, permitindo um aproveitamento máximo dos recursos disponíveis.

3.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A utilização de solvers é essencial em diversas áreas, como engenharia, economia, matemática, entre outras, uma vez que eles são capazes de solucionar problemas complexos que envolvem múltiplas variáveis e restrições de maneira rápida e precisa. Neste trabalho foi utilizado o OpenSolver.

O OpenSolver é um software gratuito e de código aberto que permite a resolução de problemas de otimização lineares, inteiras e não-lineares dentro do Microsoft Excel (OPEN SOLVER, 2022). O software possui diversas funcionalidades, como a definição de restrições e variáveis, a escolha de algoritmos de resolução e a apresentação dos resultados em tabelas e gráficos. Uma das principais vantagens do OpenSolver é sua flexibilidade e facilidade de uso, que permitem a resolução de problemas complexos com apenas alguns cliques. O OpenSolver se mostrou uma ferramenta poderosa e útil para a resolução de problemas de otimização. Também apresentou soluções precisas e é de fácil de uso.

3.4.1 Função Objetivo

A função objetivo do nosso modelo consiste em determinar o mix de fornecedores que resulte no maior rendimento total de açúcar total recuperável (ATR), o qual é o indicador mais relevante para medir o desempenho do canavial. Para isso, agrupamos os fornecedores com base na sua média de ATR e definimos como meta selecionar aqueles com um ATR acima de 120 kg.

Dessa forma, a função objetivo do nosso modelo combina diferentes fornecedores que atendem a esse critério de seleção, buscando maximizar o ATR total produzido. Essa abordagem é fundamental para garantir a eficiência e a rentabilidade da produção de cana-de-açúcar, pois permite identificar e priorizar os fornecedores que apresentam um desempenho superior em termos de qualidade do produto.

Ao utilizar essa função objetivo em nosso modelo, podemos otimizar o processo de seleção dos fornecedores e obter um mix ideal que maximize o rendimento de ATR total, considerando as restrições de capacidade de cada fornecedor. Além disso, essa abordagem nos permite melhorar a qualidade do produto final, aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais, contribuindo para a competitividade do setor sucroenergético. Abaixo segue a equação (Equação 1) que representa a função objetivo e a Tabela 1 com um recorte dos valores de ATR de cada fornecedor. Os valores completos estão no Apêndice A:

$$Z = \sum_{i=1}^n ATR_i * X_i \quad (1)$$

no qual o ATR_i é o valor de ATR da cana-de-açúcar do fornecedor i , e X_i é a quantidade X que se deve comprar do fornecedor i .

Tabela 1- Valor de ATR por Fornecedor

FORNECEDOR	ATR (KG/TC)
x1	121,2471
x2	123,0309
x3	125,8269
x4	133,9397
x5	128,6347
x6	129,3759
x7	131,0153
x8	122,5667
x9	123,0208
x10	124,8612
(...)	(...)
x228	130,5867

FONTE: Autor (2023)

3.4.2 Restrições

- Capacidade de moagem da usina

A capacidade mensal e anual de moagem da usina está diretamente relacionada aos dias de safra previstos. Todos os dados foram coletados diretamente da usina em questão. Para calcularmos a capacidade mensal, é necessário levar em consideração o número de dias de safra previstos para o mês em questão e a capacidade diária de moagem da usina. Já para calcularmos a capacidade anual, precisamos somar a capacidade mensal de cada mês da safra. Dessa forma, é possível estimar que a capacidade de moagem da usina ao longo do ano é de cerca de 330.000 toneladas de cana, considerando os períodos de maior e menor produtividade.

- Quantidade de Cana disponível por fornecedor

A capacidade de fornecimento dos fornecedores à usina é um fator crucial para a produção de cana-de-açúcar. É importante levar em consideração a quantidade que os fornecedores são capazes de oferecer à usina, de forma a garantir a produção contínua e eficiente. A determinação dessa quantidade envolve uma análise cuidadosa da capacidade de produção dos fornecedores, bem como do volume de cana-de-açúcar que é demandado pela usina. Para obter essa informação, foram realizadas pesquisas individuais com cada fornecedor

para levantar a quantidade que eles são capazes de fornecer. Vale ressaltar que a usina não possui cana própria, o que torna o planejamento da capacidade de fornecimento dos fornecedores ainda mais importante. Dessa forma, é possível estabelecer uma relação de confiança entre a usina e seus fornecedores, baseada em uma visão clara e objetiva da capacidade de fornecimento de cada um. A Tabela 2 apresenta os valores da quantidade de cana de cada fornecedor e a Equação 2 que a representa. O Apêndice B apresenta todos os valores de capacidade dos fornecedores.

$$R1 = \sum_{i=1}^n QUANTIDADEFORNECEDORI * Xi \leq \text{Capacidade Individual do Fornecedor} \quad (2)$$

no qual a *QUANTIDADEFORNECEDORI* é a capacidade do fornecedor i, e *Xi* é a quantidade X que se deve comprar do fornecedor i.

Tabela 2 - Capacidade de cada Fornecedor

FORNECEDOR	CAPACIDADE	FORNECEDOR
x1	100,00	
x2	5.000,00	
(...)	(...)	
x228	78,00	

Fonte: Autor (2023)

- Valor de Frete

No processo de logística da empresa, o pagamento do frete é feito individualmente pelos fornecedores, e os valores cobrados podem variar consideravelmente, não estando diretamente relacionados com a distância. É importante ressaltar que o frete é um elemento crucial no processo de fornecimento de cana-de-açúcar, e que a sua gestão deve ser realizada de maneira cuidadosa e eficiente, visando garantir a sustentabilidade econômica e operacional da empresa. Nesse sentido, é fundamental que a empresa estabeleça critérios claros e objetivos para a negociação do frete com seus fornecedores, de forma a otimizar os custos e minimizar possíveis impactos negativos sobre a operação. Segue abaixo a Tabela 3 referentes ao frete e a Equação 3 que a representa. No Apêndice C são apresentados todos os valores de frete.

$$R2 = \sum_{i=1}^n FRET E_i * X_i \leq 6.240,205 \quad (3)$$

no qual o $FRET E_i$ é o valor de frete fornecedor i , e X_i é a quantidade X que se deve comprar do fornecedor i .

Tabela 3 - Valor de Frete

FORNECEDOR	VALOR DO FRETE
x1	R\$ 15,00
x2	R\$ 15,00
x3	R\$ 15,00
(...)	(...)
x228	R\$ 10,00

Fonte: Autor (2023)

- Pagamento aos fornecedores

A empresa estabeleceu um limite de valor a ser pago aos fornecedores. Portanto, o valor do pagamento é calculado utilizando a seguinte equação.

$$R3 = 1,0325 * (\sum_{i=1}^n AT R_i * X_i) \leq 51.876.055$$

no qual o $AT R_i$ é o valor de ATR da cana-de-açúcar do fornecedor i , e X_i é a quantidade X que se deve comprar do fornecedor i .

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base na aplicação do modelo de apresentação desenvolvido, foram obtidos resultados significativos para o empreendimento.

No mix de fornecedores selecionados, foram alcançados os seguintes resultados: uma redução de 16,38% no custo de frete, o que gerou uma economia de R\$ 1.022.380,00. Além disso, houve uma redução de 18,03% no pagamento aos fornecedores, gerando uma economia de R\$ 9.351.428,00.

Destaca-se que a quantidade de cana-de-açúcar utilizada na safra anterior foi mantida. Com a aplicação do modelo, foram produzidos aproximadamente 41.186.080,28 kg de açúcar, aproximadamente 823.721 sacas de 50 kg de açúcar, na safra anterior foram produzidas 340.125 sacas de 50 kg de açúcar, logo 17.006.250 kg de açúcar.

Apenas 41 fornecedores não será necessário comparar mais cana-de-açúcar. Ou seja, 82,02% dos fornecedores serão mantidos. Ou seja, a solução não passou pela redução abrupta do número de fornecedores, mas sim pela compra ideal das quantidades de cana-de-açúcar.

Esses resultados (Tabela 4) demonstram a efetividade do modelo proposto e os benefícios que podem ser obtidos com sua aplicação.

Tabela 4 – Comparações dos valores de frete da safra com os valores otimizados

Restrição	Resultados Otimizados	Safra Anterior	Diferença %
Frete	R\$ 5.217.825,00	R\$ 6.240.205,00	Redução de 16,38%
Pagamento aos Fornecedores	R\$ 42.524.627,89	R\$ 51.876.055,00	Redução de 18,03%
Quantidade de Açúcar	41.186.080,28 Kg	R\$ 17.006.250 Kg	Aumento de 142,18%

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 5 (e sua continuação) apresenta a quantidade que deveria ser comprada de cada um dos 228 fornecedores segundo o cenário apresentado pelo modelo proposto. Em média da quantidade a ser comprada é de 1775 Kg (com um desvio-padrão de 3221 Kg) de cada fornecedor. A mediana da quantidade a ser pedida foi de 500 Kg (com distância interquartil de 1900Kg) de cada fornecedor. A quantidade mínima a ser comprar é de 70 Kg (para o fornecedor 117, mantendo o mesmo tamanho que na safra anterior) e máximo de 20000 Kg (para o fornecedor 57, mantendo o mesmo tamanho que na safra anterior).

Tabela 5 - Comparação do Valor de Cana do fornecedor e a Quantidade que devem ser solicitadas a eles.

Fornecedor	A	B	Fornecedor	A	B	Fornecedor	A	B
x1	100	0	x42	5000	0	x83	500	500
x2	5000	5000	x43	75	75	x84	200	200
x3	155	155	x44	2000	2000	x85	4000	0
x4	125	125	x45	600	600	x86	300	0
x5	250	250	x46	250	250	x87	500	500
x6	300	300	x47	200	0	x88	160	160
x7	290	290	x48	700	700	x89	400	400
x8	200	200	x49	1500	1500	x90	100	100
x9	10000	10000	x50	250	250	x91	3000	3000
x10	500	500	x51	700	700	x92	300	300
x11	100	100	x52	250	0	x93	75	75
x12	250	250	x53	10000	10000	x94	76	76
x13	150	0	x54	5000	5000	x95	600	0
x14	600	600	x55	80	80	x96	150	150
x15	200	0	x56	80	80	x97	900	900
x16	550	550	x57	20000	20000	x98	300	300
x17	400	0	x58	5000	5000	x99	200	200
x18	80	80	x59	200	0	x100	500	0
x19	8000	8000	x60	4000	0	x101	4000	4000
x20	100	100	x61	150	150	x102	500	0
x21	600	600	x62	80	0	x103	150	150
x22	1400	0	x63	300	300	x104	200	200
x23	150	0	x64	500	500	x105	3000	3000
x24	80	80	x65	300	300	x106	5000	5000
x25	75	75	x66	900	900	x107	100	0
x26	4000	0	x67	200	200	x108	120	120
x27	2500	2500	x68	900	0	x109	3000	3000
x28	1200	1200	x69	3000	3000	x110	150	150
x29	250	0	x70	200	200	x111	100	100
x30	18000	18000	x71	75	75	x112	800	0
x31	100	100	x72	10000	10000	x113	80	0
x32	2000	2000	x73	10000	10000	x114	800	800
x33	950	950	x74	5000	5000	x115	12000	12000
x34	300	300	x75	16000	16000	x116	80	80
x35	500	500	x76	10000	0	x117	70	70
x36	1000	1000	x77	4000	4000	x118	600	600
x37	250	250	x78	6000	0	x119	150	150
x38	1500	1500	x79	4000	4000	x120	7000	7000
x39	400	400	x80	3000	3000	x121	500	500
x40	80	80	x81	100	100	x122	500	500
x41	400	0	x82	300	300	x123	2000	2000

Legenda: A é a quantidade disponível do fornecedor; B é a quantidade que deve feito o pedido segundo o solver.

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5 - Comparação do Valor de Cana do fornecedor e a Quantidade que devem ser solicitadas a eles
(Continuação)

Fornecedor	A	B	Fornecedor	A	B	Fornecedor	A	B
x124	200	200	x165	750	750	x206	5000	922
x125	700	700	x166	600	600	x207	200	0
x126	800	800	x167	200	200	x208	2000	2000
x127	10000	10000	x168	500	500	x209	2000	2000
x128	2000	2000	x169	600	600	x210	1500	1500
x129	300	0	x170	4500	4500	x211	150	150
x130	5000	5000	x171	200	200	x212	300	300
x131	80	80	x172	80	80	x213	1600	1600
x132	900	0	x173	1000	1000	x214	80	80
x133	300	300	x174	700	0	x215	150	150
x134	1000	0	x175	100	100	x216	190	190
x135	500	500	x176	90	90	x217	2500	2500
x136	650	650	x177	750	0	x218	150	150
x137	80	80	x178	4500	4500	x219	600	600
x138	3000	0	x179	4000	4000	x220	3500	3500
x139	500	500	x180	450	450	x221	450	450
x140	200	200	x181	12500	12500	x222	900	900
x141	500	500	x182	150	0	x223	600	0
x142	5000	0	x183	300	300	x224	2000	2000
x143	500	500	x184	3000	3000	x225	510	510
x144	1500	1500	x185	400	0	x226	800	800
x145	6500	0	x186	80	80	x227	100	0
x146	600	0	x187	3000	3000	x228	78	78
x147	1500	1500	x188	200	200			
x148	450	450	x189	2000	2000			
x149	100	100	x190	9000	0			
x150	2500	2500	x191	5000	5000			
x151	230	230	x192	200	200			
x152	350	350	x193	200	200			
x153	1000	1000	x194	350	350			
x154	80	80	x195	11000	11000			
x155	200	200	x196	600	0			
x156	450	450	x197	200	200			
x157	500	500	x198	500	500			
x158	5000	5000	x199	1500	1500			
x159	250	250	x200	1000	1000			
x160	200	200	x201	450	450			
x161	200	200	x202	1000	1000			
x162	74	74	x203	300	300			
x163	4000	4000	x204	1500	1500			
x164	600	600	x205	800	0			

Lenda: A é a quantidade disponível do fornecedor; B é a quantidade que deve feito o pedido segundo o solver.

Fonte: Autor (2023)

5. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos específicos da pesquisa, foi possível desenvolver um modelo de programação linear para a seleção dos melhores fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR em uma usina de produção de açúcar. Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre pesquisa operacional e seus métodos aplicados na cadeia de suprimentos da indústria sucroalcooleira, coletados os dados necessários na usina e construído o modelo de programação linear para seleção dos fornecedores com base no ATR. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com a situação atual da usina, validando o modelo proposto e sugerindo possíveis melhorias para sua aplicação em outras usinas.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto foram significativos para o empreendimento. O mix de fornecedores selecionados resultou em uma redução de 16,38% no custo de frete, gerando uma economia de R\$ 1.022.380,00, e uma redução de 18,03% no pagamento aos fornecedores, gerando uma economia de R\$ 9.351.428,00. Além disso, a quantidade de cana de açúcar utilizada na safra anterior foi mantida, porém, com a aplicação do modelo, foram produzidos aproximadamente 41.186.080,28 kg de açúcar, o que equivale a cerca de 35.008.176,04 kg de açúcar, considerando uma perda de 15% em relação ao valor do ATR.

Com isso, os resultados obtidos demonstram a efetividade do modelo proposto e os benefícios que podem ser obtidos com sua aplicação. O modelo proposto pode ser aplicado em outras usinas de produção de açúcar, gerando redução de custos e aumento da eficiência na seleção dos fornecedores de cana-de-açúcar com base no ATR.

Com base na pesquisa realizada, é possível apontar algumas sugestões para trabalhos futuros na área:

- Implementar o modelo proposto em outras usinas de produção de açúcar, a fim de verificar sua aplicabilidade em diferentes contextos e regiões;
- Realizar um estudo sobre a inclusão de critérios socioambientais na seleção de fornecedores de cana-de-açúcar, considerando, por exemplo, a sustentabilidade da produção, a responsabilidade social e a preservação do meio ambiente;
- Ampliar o modelo de programação linear para a seleção de fornecedores de outras matérias-primas utilizadas na produção de açúcar, como o etanol;
- Realizar uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto de diferentes parâmetros na seleção de fornecedores, como a variação do ATR, a distância entre a usina e os fornecedores, entre outros;

- Investigar o uso de outras técnicas de otimização, como a programação inteira, para a seleção de fornecedores de cana-de-açúcar e comparar os resultados com o modelo de programação linear proposto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Panorama do setor sucroenergético. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:

<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/panorama-do-setor-sucroenergetico>. Acesso em: 07 maio 2023.

ALVARENGA, A. C. et al. Tomada de decisão: O papel da intuição e da análise racional. *Revista de Administração da UFSM*, v. 12, n. 2, p. 1-18, 2019.

ALVES, M. A. et al. Utilização de Modelos para Tomada de Decisão nas Empresas: Revisão Sistemática da Literatura. *Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos*, v. 17, n. 2, p. 135-150, 2020.

ALVES, A. O Setor Sucroalcooleiro no Brasil: Impactos Econômicos, Ambientais e Sociais. 2021. 1 recurso online (4 p.). Monografia (Graduação em Administração) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em:

https://www.ufabc.edu.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=64:monografias-de-administracao&Itemid=587. Acesso em: 08 mai. 2023.

ANGELONI, M. T. O papel dos dados, informações e conhecimentos no processo de tomada de decisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ABEPRO, 2003.

ANGELONI, M. T. R. A pesquisa operacional como apoio à tomada de decisões. *Revista Contabilidade Vista & Revista*, v. 14, n. 2, p. 95-118, 2003.

ANGELONI, M. T. A. Metodologia de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

LACHTERMACHER, G. Modelos Computacionais na Tomada de Decisão. 2006. 74 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ANGELONI, M. T. Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

ANGELONI, M. T. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

ANTHONY, T. F.; BUFFA, F. P. Strategic purchasing scheduling. *Journal of Purchasing and Materials Management*, v. 13, n. 3, p. 27–31, 1977.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS DISTRIBUIDORES DE INSUMOS AGRÍCOLAS E VETERINÁRIOS. Setor sucroalcooleiro é um dos mais relevantes para o mercado de insumos. Agrolink, 2019. Disponível em:

https://www.agrolink.com.br/noticias/setor-sucroalcooleiro-e-um-dos-mais-relevantes-para-o-mercado-de-insumos_422035.html. Acesso em: 08 mai. 2023.

ÁVILA, P. et al. Supplier's Selection Model based on an Empirical Study. *International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*, v. 5, p. 625–634, 2012.

BALDISSERA, M. D. et al. Selecting sugarcane suppliers based on a multi-criteria decision-making model. *Industrial Crops and Products*, v. 108, p. 271-279, 2017.

BELIK, Walter; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. O Complexo Agroindustrial Canavieiro: desafios e perspectivas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 40, n. 1, p. 41-68, jan./mar. 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032002000100003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2023.

BIODISELBR, 2006. Disponível em: [PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool | BiodieselBR.com](http://PróAlcool-Programa Brasileiro de Álcool | BiodieselBR.com). Acesso em: 24/07/2023.

BUFFA, F. P.; JACKSON, W. M. A goal programming model for purchase planning. *Journal of Purchasing and Materials Management*, v. 19, n. 3, p. 27-34, 1983.

CAIXETA FILHO, J. V. Programação linear e aplicações. São Paulo: Atlas, 2004.
GOMES, M. C. C.; OLIVEIRA, J. F. Programação linear e inteira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

CANTARELLA, H. et al. Aspectos econômicos e tecnológicos do setor sucroalcooleiro. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 88, n. 2, p. 747-764, 2016.
CHAUDHRY, S. S.; FORST, F. G.; ZYDIKAK, J. L. Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, v. 70, n. 1, p. 52-66, 1993.

COELHO, Beatriz. Mão na massa: como delimitar a metodologia científica do seu trabalho?. **METTZER**, 30 de outubro de 2020. Disponível em: [mettzerhttps://blog.mettzer.com/metodologia-cientifica/#:~:text=Os%20procedimentos%20t%C3%A9cnicos%20s%C3%A3o%20as,pesquisa%20da%20C3%A7%C3%A3o%20e%20pesquisa%20participante.er.com](https://blog.mettzer.com/metodologia-cientifica/#:~:text=Os%20procedimentos%20t%C3%A9cnicos%20s%C3%A3o%20as,pesquisa%20da%20C3%A7%C3%A3o%20e%20pesquisa%20participante.er.com). Acesso em: 11/07/2023

COHEN, S.; ROUSSEL, J. Strategic supply chain management: the five disciplines for Top Performance. McGraw-Hill, 2004.

CONCEIÇÃO, F. C. et al. ATR da cana-de-açúcar: conceitos e importância na agroindústria canavieira. In: XIII Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 2007.
COPERSUCAR, Fundamentos dos processos de fabricação de açúcar e álcool, Caderno Copersucar, 1988.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana de-Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções, v. 5, 2007.

CONTANDRIOPOULOS, A.P.; CHAMPAGNE, F.; POTVIN, L.; DENIS, J.L.; BOYLE, P. Saber preparar uma pesquisa. São Paulo/Rio de Janeiro: Hucitec/Abrasco, 1994.

DANTZIG, G. B. Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities. In: ACTIVITIES OF THE MATHEMATICAL RESEARCH GROUP OF THE CENTRAL AIR TRANSPORT COMMAND. United States Army, 1947. p. 1-18.

LOPES, H. F. Programação Linear. São Paulo: Atlas, 2005.

DICKSON, G. W. An analysis of vendor selection systems and decisions. Journal of Purchasing, v. 2, n. 1, p. 5–17, 1966.

EMBRAPA. Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/cana-de-acucar/cana-de-acucar.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FARAHANI, R. Z.; REZAEI, S.; DREXL, A. Competitive supply chain network design: an overview of classifications, models, solution techniques and applications. Omega, v. 45, p. 92-118, 2014.

FERNANDES, F. C. F. Aplicação de Modelos de Programação Linear na Gestão da Cadeia de Suprimentos: uma revisão sistemática da literatura. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FERREIRA, G. M. D.; FERNANDES, A. M. Cana-de-açúcar: principais características e aspectos técnicos de produção. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000483155>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FIROUZ, M.; KESKIN, B. B.; MELOUK, S. H. An integrated supplier selection and inventory problem with multi-sourcing and lateral transshipments. European Journal of Operational Research, v. 70, p. 77–93, 2017.

FRONTLINE SYSTEMS, INC. Solver for Excel. Disponível em: <https://www.solver.com/solver-excel>. Acesso em: 26 abr. 2023.

GABALLA, A. A. Minimum Cost Allocation of Tenders. Operational Research Quarterly, v. 25, n. 3, p. 389–398, 1974.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação. São Paulo: Thomson Learning, 2004.

GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, J. M. S. O conceito de pesquisa operacional e sua aplicabilidade na solução de problemas reais. [S.l.], 2023. 25 f. Monografia (Graduação em Administração) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

HORAN, P. Developing an effectiveness evaluation framework for destination management systems. Ph.D. thesis. Queen Margaret University, Edinburgh, September, 2010.

LAURINDO, F. J. B. Pesquisa operacional na tomada de decisões. São Paulo: Atlas, 2002.

LACHTERMACHER, G. Construção de modelos computacionais no processo de tomada de decisão. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. Anais... Bauru: UNESP, 2006.

LACHTERMACHER, G. D. Modelos de decisão: uma revisão de literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABEPRO, 2006. p. 1-10.

LACHTERMACHER, G. Tomada de Decisão e Problemas Complexos: a construção de modelos e cenários computacionais. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

SIMON, H. A. Models of Bounded Rationality: Empirically Grounded Economic Reason. Massachusetts: MIT Press, 1977.

LACHTERMACHER, Gerson. Processo de Tomada de Decisão: Enfoque Bayesianos. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

LUCENA, A. F. et al. Modelagem matemática de problemas industriais: aplicação à indústria sucroalcooleira. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 1, 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/7499>. Acesso em: 26 abr. 2023.

LUCENA, A. F. et al. Modelagem matemática de problemas industriais: aplicação à indústria sucroalcooleira. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 1, 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/7499>. Acesso em: 26 abr. 2023.

MAIA, L. C. M.; MORABITO, R.; BEZERRA, M. S. S. Análise multicritério aplicada à seleção de fornecedores em uma indústria alimentícia. Gestão & Produção, v. 18, p. 525-536, 2011.

MALONI, M. J.; BENTON, W. C. Supply chain partnerships: Opportunities for operations research. European Journal of Operational Research, 1997.

MATOS, C. A. Otimização em engenharia: algoritmos, métodos e aplicações. São Paulo: Ed. Blucher, 2018.

MENDES, A. C. A. et al. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, 2009.

SELEGUIM JÚNIOR, P. et al. Açúcar e Alcool: Tecnologia da Produção. Ed. UNESP, 2013.

MICROSOFT. Solver. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/solver-aad27c0d-2ef9-4266-be91-8aa3ebcbfc80>. Acesso em: 26 abr. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Levantamento da safra de cana-de-açúcar 2020/2021. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/noticias/levantamento-da-safra-de-cana-de-acucar-2020-2021. Acesso em: 08 mai. 2023.

MORAES, L. Técnicas de Otimização: uma abordagem prática para solução de problemas. 1. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2019.

SEBRAE. Tecnologia da Informação. Disponível em:

<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sebraeaz/tecnologia-da-informacao-beneficia-pequenas-empresas,55579d9067d64410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

MOREIRA. ECONOMIA BRASILEIRA CONTEMPORÂNEA. EDIÇÃO 1. RIO DE JANEIRO: CEDERJ. 2008.

NOBELPRIZE.ORG. The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1975. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1975/summary/>. Acesso em: 26 abr. 2023.

OPEN SOLVER. OpenSolver. Disponível em: <https://opensolver.org/>. Acesso em: 26 abr. 2023.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/Texto.php?codTexto=15925>. Acesso em: 27/07/2023

PADOVEZE, C. L. Contabilidade gerencial: um enfoque em sistema de informação contábil. São Paulo: Atlas, 2004.

RESENDE, M.; RIBEIRO, C. C. Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2006.

ROSENTHAL, E. C.; ZYDIK, J. L.; CHAUDHRY, S. S. Vendor selection with bundling. *Decision Sciences*, v. 1, n. 26, p. 35–48, 1995.

SHIKIDA, Cláudio D. S. O agronegócio do açúcar no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 36, n. 1, p. 53-70, 1998.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000, 118p

TURNER, I. An independent system for the evaluation of contract tenders. *Operational Research Society*, v. 39, n. 6, p. 551–561, 1988.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Safra 2021/2022: O que muda para os fornecedores de cana. UNICA, 2021. Disponível em: <https://www.unica.com.br/noticias/314344410031414641043140/224251780854334347731037>. Acesso em: 08 mai. 2023.

UNICA. Sobre a União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <https://www.unica.com.br/>. Acesso em: 02 maio 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Sugar: World Markets and Trade. Washington, D.C., 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/sugar.pdf>. Acesso em: 07 maio 2023.

Lista de Apêndices

APÊNDICE A – QUADRO DE FORNECEDORES POR ATR

FORNECEDOR	ATR (KG/TC)
x1	121,2471
x2	123,0309
x3	125,8269
x4	133,9397
x5	128,6347
x6	129,3759
x7	131,0153
x8	122,5667
x9	123,0208
x10	124,8612
x11	126,0424
x12	126,4905
x13	120,5068
x14	122,4947
x15	121,86
x16	126,0584
x17	121,3657
x18	132,4095
x19	123,948
x20	125,8423
x21	125,4033
x22	120,5266
x23	120,0589

x24	131,7451
x25	125,2707
x26	121,096
x27	125,8876
x28	125,9243
x29	120,0003
x30	123,6922
x31	137,6517
x32	124,8794
x33	129,333
x34	131,1349
x35	128,314
x36	128,2051
x37	126,1723
x38	123,308
x39	125,0867
x40	130,3721
x41	131,4225
x42	121,7856
x43	122,132
x44	127,4984
x45	131,2657
x46	128,3624
x47	133,1509
x48	121,962
x49	124,1204
x50	125,5649
x51	126,2775
x52	130,0444
x53	121,5033
x54	123,21
x55	130,1415
x56	126,2887
x57	124,2395

x58	123,4872
x59	123,7978
x60	120,5011
x61	120,7952
x62	137,5006
x63	121,9356
x64	125,6533
x65	133,2117
x66	122,3876
x67	124,3665
x68	126,561
x69	121,158
x70	125,2885
x71	139,5723
x72	125,8872
x73	122,6328
x74	124,7714
x75	122,598
x76	123,5269
x77	121,673
x78	124,8283
x79	120
x80	123,3475
x81	129,1585
x82	138,4527
x83	122,6172
x84	134,76
x85	120,3594
x86	121,1161
x87	129,4085
x88	128,0983
x89	127,9002
x90	124,9091
x91	126,3571

x92	123,0643
x93	135,5565
x94	126,881
x95	121,488
x96	124,9742
x97	124,2745
x98	123,1189
x99	128,2314
x100	120,6952
x101	125,2511
x102	120,883
x103	125,6253
x104	128,4236
x105	127,8399
x106	123,7891
x107	120,0293
x108	131,7803
x109	123,3345
x110	130,5699
x111	129,5129
x112	120,8405
x113	120,2633
x114	124,8921
x115	124,6771
x116	126,6164
x117	126,2725
x118	123,6375
x119	123,6375
x120	131,6859
x121	127,3685
x122	124,5424
x123	125,4589
x124	129,2091
x125	122,3397

x126	129,1278
x127	122,9508
x128	127,5454
x129	122,0694
x130	126,3523
x131	124,8875
x132	121,8186
x133	131,5696
x134	122,1449
x135	124,6478
x136	125,6669
x137	133,9715
x138	120,0409
x139	131,3019
x140	127,2656
x141	126,9528
x142	120,4792
x143	123,9439
x144	125,9491
x145	120,1512
x146	120,9858
x147	126,3232
x148	124,4382
x149	139,3108
x150	122,7363
x151	131,224
x152	131,4344
x153	122,9666
x154	130,7758
x155	128,7752
x156	128,2704
x157	126,2662
x158	122,7219
x159	127,6817

x160	125,9879
x161	127,3724
x162	128,545
x163	126,1103
x164	128,1199
x165	133,2195
x166	122,7488
x167	129,0869
x168	127,8336
x169	133,9376
x170	124,7156
x171	124,4371
x172	129,1889
x173	122,9929
x174	120,6225
x175	130,9138
x176	125,3817
x177	121,7611
x178	124,08
x179	123,3351
x180	126,6097
x181	124,3459
x182	120,799
x183	125,4955
x184	127,5416
x185	121,5
x186	128,0528
x187	124,8088
x188	122,6364
x189	124,0312
x190	121,92
x191	122,3835
x192	131,0991
x193	133,3244

x194	130,2348
x195	122,4554
x196	121,7215
x197	132,4293
x198	124,3483
x199	128,3778
x200	125,0779
x201	126,8498
x202	126,5029
x203	129,1291
x204	123,7172
x205	122,0559
x206	122,1846
x207	121,9476
x208	128,1655
x209	123,8161
x210	126,5334
x211	133,8303
x212	126,8499
x213	125,0446
x214	131,3368
x215	130,245
x216	125,9049
x217	123,6374
x218	128,4044
x219	123,2666
x220	123,1277
x221	126,621
x222	125,9239
x223	120,86
x224	124,9644
x225	126,0019
x226	124,7041
x227	120,9446

x228	130,5867
------	----------

APÊNDICE B – QUADRO DE FORNECEDORES POR CAPACIDADE

FORNECEDOR	CAPACIDADE FORNECEDOR
x1	100,00
x2	5.000,00
x3	155,00
x4	125,00
x5	250,00
x6	300,00
x7	290,00
x8	200,00
x9	10.000,00
x10	500,00
x11	100,00
x12	250,00
x13	150,00
x14	600,00
x15	200,00
x16	550,00
x17	400,00
x18	80,00
x19	8.000,00
x20	100,00
x21	600,00
x22	1.400,00
x23	150,00

x24	80,00
x25	75,00
x26	4.000,00
x27	2.500,00
x28	1.200,00
x29	250,00
x30	18.000,00
x31	100,00
x32	2.000,00
x33	950,00
x34	300,00
x35	500,00
x36	1.000,00
x37	250,00
x38	1.500,00
x39	400,00
x40	80,00
x41	400,00
x42	5.000,00
x43	75,00
x44	2.000,00
x45	600,00
x46	250,00
x47	200,00
x48	700,00
x49	1.500,00
x50	250,00
x51	700,00
x52	250,00
x53	10.000,00
x54	5.000,00
x55	80,00
x56	80,00
x57	20.000,00

x58	5.000,00
x59	200,00
x60	4.000,00
x61	150,00
x62	80,00
x63	300,00
x64	500,00
x65	300,00
x66	900,00
x67	200,00
x68	900,00
x69	3.000,00
x70	200,00
x71	75,00
x72	10.000,00
x73	10.000,00
x74	5.000,00
x75	16.000,00
x76	10.000,00
x77	4.000,00
x78	6.000,00
x79	4.000,00
x80	3.000,00
x81	100,00
x82	300,00
x83	500,00
x84	200,00
x85	4.000,00
x86	300,00
x87	500,00
x88	160,00
x89	400,00
x90	100,00
x91	3.000,00

x92	300,00
x93	75,00
x94	76,00
x95	600,00
x96	150,00
x97	900,00
x98	300,00
x99	200,00
x100	500,00
x101	4.000,00
x102	500,00
x103	150,00
x104	200,00
x105	3.000,00
x106	5.000,00
x107	100,00
x108	120,00
x109	3.000,00
x110	150,00
x111	100,00
x112	800,00
x113	80,00
x114	800,00
x115	12.000,00
x116	80,00
x117	70,00
x118	600,00
x119	150,00
x120	7.000,00
x121	500,00
x122	500,00
x123	2.000,00
x124	200,00
x125	700,00

x126	800,00
x127	10.000,00
x128	2.000,00
x129	300,00
x130	5.000,00
x131	80,00
x132	900,00
x133	300,00
x134	1.000,00
x135	500,00
x136	650,00
x137	80,00
x138	3.000,00
x139	500,00
x140	200,00
x141	500,00
x142	5.000,00
x143	500,00
x144	1.500,00
x145	6.500,00
x146	600,00
x147	1.500,00
x148	450,00
x149	100,00
x150	2.500,00
x151	230,00
x152	350,00
x153	1.000,00
x154	80,00
x155	200,00
x156	450,00
x157	500,00
x158	5.000,00
x159	250,00

x160	200,00
x161	200,00
x162	74,00
x163	4.000,00
x164	600,00
x165	750,00
x166	600,00
x167	200,00
x168	500,00
x169	600,00
x170	4.500,00
x171	200,00
x172	80,00
x173	1.000,00
x174	700,00
x175	100,00
x176	90,00
x177	750,00
x178	4.500,00
x179	4.000,00
x180	450,00
x181	12.500,00
x182	150,00
x183	300,00
x184	3.000,00
x185	400,00
x186	80,00
x187	3.000,00
x188	200,00
x189	2.000,00
x190	9.000,00
x191	5.000,00
x192	200,00
x193	200,00

x194	350,00
x195	11.000,00
x196	600,00
x197	200,00
x198	500,00
x199	1.500,00
x200	1.000,00
x201	450,00
x202	1.000,00
x203	300,00
x204	1.500,00
x205	800,00
x206	5.000,00
x207	200,00
x208	2.000,00
x209	2.000,00
x210	1.500,00
x211	150,00
x212	300,00
x213	1.600,00
x214	80,00
x215	150,00
x216	190,00
x217	2.500,00
x218	150,00
x219	600,00
x220	3.500,00
x221	450,00
x222	900,00
x223	600,00
x224	2.000,00
x225	510,00
x226	800,00
x227	100,00

x228	78,00
------	-------

APÊNDICE C – QUADRO DE FORNECEDORES POR CAPACIDADE

FORNECEDOR	VALOR DO FRETE
x1	R\$ 15,00
x2	R\$ 15,00
x3	R\$ 15,00
x4	R\$ 10,00
x5	R\$ 10,00
x6	R\$ 10,00
x7	R\$ 10,00
x8	R\$ 10,00
x9	R\$ 25,00
x10	R\$ 10,00
x11	R\$ 10,00
x12	R\$ 10,00
x13	R\$ 10,00
x14	R\$ 10,00
x15	R\$ 10,00
x16	R\$ 15,00
x17	R\$ 15,00
x18	R\$ 20,00
x19	R\$ 25,00
x20	R\$ 15,00
x21	R\$ 15,00

x22	R\$ 10,00
x23	R\$ 10,00
x24	R\$ 10,00
x25	R\$ 10,00
x26	R\$ 10,00
x27	R\$ 10,00
x28	R\$ 10,00
x29	R\$ 10,00
x30	R\$ 25,00
x31	R\$ 10,00
x32	R\$ 10,00
x33	R\$ 10,00
x34	R\$ 10,00
x35	R\$ 10,00
x36	R\$ 10,00
x37	R\$ 10,00
x38	R\$ 10,00
x39	R\$ 10,00
x40	R\$ 10,00
x41	R\$ 10,00
x42	R\$ 10,00
x43	R\$ 10,00
x44	R\$ 10,00
x45	R\$ 10,00
x46	R\$ 10,00
x47	R\$ 10,00
x48	R\$ 10,00
x49	R\$ 10,00
x50	R\$ 10,00
x51	R\$ 10,00
x52	R\$ 10,00
x53	R\$ 25,00
x54	R\$ 10,00
x55	R\$ 10,00

x56	R\$ 10,00
x57	R\$ 25,00
x58	R\$ 10,00
x59	R\$ 10,00
x60	R\$ 10,00
x61	R\$ 10,00
x62	R\$ 10,00
x63	R\$ 10,00
x64	R\$ 10,00
x65	R\$ 10,00
x66	R\$ 10,00
x67	R\$ 10,00
x68	R\$ 10,00
x69	R\$ 10,00
x70	R\$ 10,00
x71	R\$ 10,00
x72	R\$ 20,00
x73	R\$ 25,00
x74	R\$ 20,00
x75	R\$ 20,00
x76	R\$ 20,00
x77	R\$ 10,00
x78	R\$ 10,00
x79	R\$ 10,00
x80	R\$ 10,00
x81	R\$ 10,00
x82	R\$ 10,00
x83	R\$ 10,00
x84	R\$ 10,00
x85	R\$ 10,00
x86	R\$ 10,00
x87	R\$ 10,00
x88	R\$ 10,00
x89	R\$ 10,00

x90	R\$ 10,00
x91	R\$ 10,00
x92	R\$ 10,00
x93	R\$ 10,00
x94	R\$ 10,00
x95	R\$ 10,00
x96	R\$ 10,00
x97	R\$ 10,00
x98	R\$ 10,00
x99	R\$ 10,00
x100	R\$ 10,00
x101	R\$ 10,00
x102	R\$ 10,00
x103	R\$ 10,00
x104	R\$ 10,00
x105	R\$ 10,00
x106	R\$ 10,00
x107	R\$ 10,00
x108	R\$ 10,00
x109	R\$ 10,00
x110	R\$ 10,00
x111	R\$ 10,00
x112	R\$ 10,00
x113	R\$ 10,00
x114	R\$ 10,00
x115	R\$ 20,00
x116	R\$ 10,00
x117	R\$ 10,00
x118	R\$ 10,00
x119	R\$ 10,00
x120	R\$ 10,00
x121	R\$ 10,00
x122	R\$ 10,00
x123	R\$ 10,00

x124	R\$ 10,00
x125	R\$ 10,00
x126	R\$ 10,00
x127	R\$ 25,00
x128	R\$ 10,00
x129	R\$ 10,00
x130	R\$ 10,00
x131	R\$ 10,00
x132	R\$ 10,00
x133	R\$ 10,00
x134	R\$ 10,00
x135	R\$ 10,00
x136	R\$ 10,00
x137	R\$ 10,00
x138	R\$ 10,00
x139	R\$ 10,00
x140	R\$ 10,00
x141	R\$ 10,00
x142	R\$ 10,00
x143	R\$ 10,00
x144	R\$ 10,00
x145	R\$ 15,00
x146	R\$ 10,00
x147	R\$ 10,00
x148	R\$ 10,00
x149	R\$ 10,00
x150	R\$ 10,00
x151	R\$ 10,00
x152	R\$ 10,00
x153	R\$ 10,00
x154	R\$ 10,00
x155	R\$ 10,00
x156	R\$ 10,00
x157	R\$ 10,00

x158	R\$ 10,00
x159	R\$ 10,00
x160	R\$ 10,00
x161	R\$ 10,00
x162	R\$ 10,00
x163	R\$ 10,00
x164	R\$ 10,00
x165	R\$ 10,00
x166	R\$ 10,00
x167	R\$ 10,00
x168	R\$ 10,00
x169	R\$ 10,00
x170	R\$ 10,00
x171	R\$ 10,00
x172	R\$ 10,00
x173	R\$ 10,00
x174	R\$ 10,00
x175	R\$ 10,00
x176	R\$ 10,00
x177	R\$ 10,00
x178	R\$ 10,00
x179	R\$ 10,00
x180	R\$ 10,00
x181	R\$ 10,00
x182	R\$ 10,00
x183	R\$ 10,00
x184	R\$ 10,00
x185	R\$ 10,00
x186	R\$ 10,00
x187	R\$ 10,00
x188	R\$ 10,00
x189	R\$ 10,00
x190	R\$ 25,00
x191	R\$ 10,00

x192	R\$ 10,00
x193	R\$ 10,00
x194	R\$ 10,00
x195	R\$ 25,00
x196	R\$ 10,00
x197	R\$ 10,00
x198	R\$ 10,00
x199	R\$ 10,00
x200	R\$ 10,00
x201	R\$ 10,00
x202	R\$ 10,00
x203	R\$ 10,00
x204	R\$ 10,00
x205	R\$ 10,00
x206	R\$ 10,00
x207	R\$ 10,00
x208	R\$ 10,00
x209	R\$ 10,00
x210	R\$ 10,00
x211	R\$ 10,00
x212	R\$ 10,00
x213	R\$ 10,00
x214	R\$ 10,00
x215	R\$ 10,00
x216	R\$ 10,00
x217	R\$ 10,00
x218	R\$ 10,00
x219	R\$ 10,00
x220	R\$ 10,00
x221	R\$ 10,00
x222	R\$ 10,00
x223	R\$ 10,00
x224	R\$ 10,00
x225	R\$ 10,00

x226	R\$ 10,00
x227	R\$ 10,00
x228	R\$ 10,00