

MODELO MATEMÁTICO PARA AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSOS DE COMPRA E BENEFICIAMENTO DE ARROZ

Emmanuel Omar Nascimento de Freitas

Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS
emmanuel@marzari.com.br

Scheila Daiana Severo Hollveg

Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS
scheilahollveg@gmail.com

Olinto César Bassi de Araújo

Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS
olinto@ctism.ufsm.br

Felipe Martins Muller

Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS
felipe@inf.ufsm.br

RESUMO

Atender as expectativas da indústria de beneficiamento de arroz é tão desafiador quanto atender a legislação vigente, em se tratando dos limites de grãos com diferentes características na formulação para empacotamento e comercialização do arroz. Neste trabalho é proposto um modelo de programação matemática para maximizar a produção de arroz com base em formulações flexíveis para diferentes produtos. Os resultados computacionais apresentam um comparativo entre o que foi de fato produzido em uma indústria e a solução do modelo proposto. A solução do modelo matemático permite um melhor aproveitamento dos grãos disponíveis, o que reflete em um possível aumento de faturamento de 15,12% ao final do período analisado.

PALAVRAS CHAVE. modelo matemático, produção, beneficiamento de arroz.

ADGP – PO na Administração e Gestão da Produção, PM – Programação Matemática

ABSTRACT

Meeting the expectations of the rice processing industry is as challenging as meeting the current legislation regarding the limits of grains with different formulation characteristics for the packaging and marketing of rice. This work proposed a mathematical programming model to maximize rice production based on flexible formulations for different products. The computational

results present a comparison between what was actually produced in industry and the proposed model solution. The mathematical model solution allows better use of the available grains, which reflects in a possible increase in the billing of 15.12% at the end of the analyzed period

KEYWORDS. mathematical model, production, rice processing.

ADGP – PO in Administration and Production Management, PM – Mathematical Programming

1. Introdução

Estimativas apontam que a participação do agronegócio no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro de 2022 pode ultrapassar os 27,4%. A maior desde 2014, e um crescimento de 8,36% em relação a 2021, de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Estatísticas governamentais aponta que as exportações do agronegócio em janeiro de 2022 atingiram os US\$ 8,82 bilhões, valor recorde para os meses de janeiro, com um incremento de 57,5% em relação aos US\$ 5,60 bilhões exportados no ano anterior. Conforme dados divulgados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o crescimento do valor exportado foi influenciado tanto pela expansão dos preços médios de exportação, que subiram 19% na comparação com janeiro de 2021, quanto em função do aumento do volume exportado, que cresceu 32,3%.

Dentre as *commodities* exportados pelo Brasil, destaca-se o arroz, que em fevereiro totalizou 135,3 mil toneladas, aumento de cerca de 65% em relação ao mesmo mês de 2021, quando as vendas externas somaram 81,9 mil toneladas, de acordo com o Ministério da Economia. Os principais compradores são Venezuela, Cuba, Peru, Estados Unidos e Cabo Verde.

O arroz tem papel preponderante em questões de segurança alimentar, conforme [Lima et al., 2022], tanto pela diversidade de técnicas de produção e comercialização quanto pela possibilidade de aumento de renda ao longo da cadeia produtiva. Sendo pautado pela demanda, o arroz reúne características esperadas pelos consumidores, pelos produtores e pela indústria.

De acordo com [Oliveira e Amato, 2021], a demanda dos consumidores está expressa pela exigência da qualidade do produto, sendo esta um diferencial no preço do produto; já a demanda dos produtores está na qualidade das sementes em busca de boa germinação, tolerância ao frio, alta capacidade de perfilhamento, colmos grossos e fortes, folhas eretas, plantas compactas e viçosas, dentre outras características.

Atualmente o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é o responsável pela regulamentação que define as composições e tolerâncias dos diferentes tipos de arroz. A Instrução Normativa (IN) n° 6, de 16 de fevereiro de 2009, aprovou o Regulamento Técnico do Arroz, define o padrão oficial de classificação dos tipos de arroz a serem ofertados aos consumidores, com requisitos de identidade, qualidade, amostragem, apresentação e marcação ou rotulagem. Por consequência, a indústria determina a formulação dos produtos, também denominada de receita, para atender a normas regulamentadoras e características visuais demandadas pelos consumidores.

No presente estudo é proposto um modelo de programação matemática para maximizar a produção de diferentes tipos de arroz, considerando formulações flexíveis que, no entanto, respeitem a regulamentação vigente e o padrão de qualidade imposto pela indústria para diferenciar os produtos. A pesquisa foi realizada em uma indústria de beneficiamento de arroz da cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul (RS), conforme Freitas [2021].

O trabalho inicia por sua introdução, na Seção 2 o referencial teórico, seguido dos modelos matemáticos propostos (Seção 3), posteriormente resultados Computacionais (Seção 4) e por fim, as considerações finais na Seção 5.

2. Referencial teórico

Nesta seção são apresentadas características do grão de arroz, assim como seu processo produtivo. Juntamente com a legislação que rege o beneficiamento do arroz. Seguido pelo estado da arte em pesquisas relacionadas encontradas na literatura.

O arroz é um cereal consumido em praticamente todo o mundo, fazendo parte da dieta de boa parte da população mundial. Uma vez colhidos, os grãos são destinados à indústria para processamento e posterior venda. O processo pelo qual passa o grão saído da lavoura até ser embalado para consumo é denominado beneficiamento, que engloba descascamento, seleção e polimento.

[Oliveira e Amato, 2021] destacam que a qualidade dos grãos de arroz afeta o valor do produto e sua aceitação pelo consumidor, que analisam atributos como aparência física, propriedades sensoriais, culinárias e nutricionais. Esses atributos estão diretamente relacionados com o processo de produção e beneficiamento. Desta forma, a qualidade do grão tem capital importância na valorização do produto, acarretando em impactos financeiros para a indústria.

No estado do Rio Grande do Sul, a composição do arroz em casca é definida de acordo com um padrão oficial de classificação, convergente com a IN, nº 6 do MAPA. A Tabela 1 apresenta os diferentes tipos de arroz com os respectivos percentuais máximos de grãos com defeito que podem ser misturados ao grão inteiro translúcido.

Tabela 1: Arroz em casca - limites máximos de tolerância em % da massa

Tipo	Ardidos	Picados ou manchados	Gessados e verdes	Rajados	Amarelos
1	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50
2	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00
3	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00
4	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00
5	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00

Os limites estipulados na regulamentação implicam diretamente no valor dos insumos, e faz-se necessária uma verificação da qualidade, feita por amostragem dos grãos de cada produtor. Em se tratando de grãos beneficiados e polidos, os limites também consideram possível presença de impurezas diversas oriundas do beneficiamento, grãos mofados e farelo de arroz (quirera).

A legislação permite regulamentar os valores máximos de impurezas e grãos que não se enquadram como grão inteiro translúcido, para o arroz polido beneficiado. Em seus anexos, a normativa também determina limites e tolerâncias para tipificação de arroz em casca parboilizado, beneficiado integral, beneficiado parboilizado polido, beneficiado parboilizado integral, beneficiado polido, fragmentos de arroz entre outros. Com isto, tem-se a possibilidade de ofertar ao mercado uma variedade de produtos.

O estudo de problemas envolvendo *mix* ótimo de produção tem atraído um crescente interesse da comunidade acadêmica, originando trabalhos de otimização baseados em diversas técnicas de otimização, como algoritmo genético, lógica *fuzzy*, redes neurais e diversas outras.

[Onwubolu e Mutingi, 2001] utilizaram algoritmo genético para resolver problemas de *mix* de produção. Os autores resolveram dois conjuntos de instâncias: o primeiro referente a dados da literatura, e o segundo com instâncias geradas aleatoriamente. Os resultados demonstram

uma performance similar aos reportados anteriormente na literatura, obtidos via programação linear inteira e uma heurística para problemas modelados via Teoria das Restrições.

[Garba et al., 2020] aplicaram Programação Linear para determinar o *mix* ótimo de produção de uma panificadora. Os resultados obtidos indicaram possibilidade de melhoria nos lucros da empresa com enfoque na produção do produto de linha mais básica, dado que sua margem de contribuição era similar as das linhas *premium* e o incremento da produção possibilitou aproveitamento praticamente integral dos insumos de produção disponíveis.

[Ginting et al., 2018] aplicaram um modelo híbrido empregando Lógica *fuzzy* e Programação Linear Inteira Mista multiobjetivo para determinar o *mix* ótimo de produtos de uma empresa do ramo têxtil. Os resultados obtidos com a resolução do modelo proposto obtiveram melhoria global de 4,81% nos quatro critérios avaliados, que por ordem de priorização do método AHP, foram: (1) maximização de lucro, (2) minimização de custos, (3) atendimento da demanda e (4) utilização dos recursos de produção com gargalos.

Além de maximização do lucro e da receita, a otimização de *mix* de produção pode também ser importante para outros fatores, tais como redução do inventário em processo (especialmente em casos nos quais se emprega manufatura celular ou tecnologia de grupo), passando até pela redução de riscos associados à produção de lotes prioritários, como descrito em [Chang, 2016].

Ainda, no sentido de subsidiar outros processos de decisão a partir da determinação do *mix* de produção, [Bootaki et al., 2016], consideraram o *mix* de produção como critério para definir o arranjo de um sistema produtivo com características de tecnologia de grupo. O modelo multiobjetivo desenvolvido pelos autores busca simultaneamente a minimização de 'vazios' na matriz de tarefas (trabalhadores x estações de trabalho) e na matriz de vantagens (trabalhadores x trabalhadores). A resolução do modelo proposto empregou o algoritmo NSGAII, que obteve bons resultados para instâncias aleatórias com até 60 trabalhadores, 40 máquinas e 12 células de produção.

3. Modelos matemáticos propostos

A construção do modelo matemático proposto para o problema integrado de compra e beneficiamento de arroz, considera inicialmente uma formulação não linear e depois um segundo modelo que corresponde a linearização do primeiro.

Nos modelos propostos é considerada uma receita flexível para a composição de cada pacote de um determinado tipo de arroz, de modo que são considerados limites para grãos com diferentes características de acordo com o regramento vigente.

A construção dos modelos se desenvolveu a partir de entrevistas com especialistas da indústria de beneficiamento, e procura espelhar a realidade do processo e identificar oportunidades relacionadas a diversificação do portfólio de produção.

O modelo não linear, no qual a receita é flexível, ou seja, não considera porcentagens pré-fixadas de grãos defeituosos para cada tipo de arroz, é apresentado a seguir. Os grãos são denominados ingredientes, correspondendo aos grãos translúcidos inteiros e os grãos com características morfológicas e visualmente diferenciadas.

Parâmetros

I = conjunto dos índices dos produtos

J = conjunto dos índices dos fornecedores

S = conjunto dos índices dos ingredientes

p_i = preço de venda do produto $i \in I$

c_j = custo da carga oriunda da carga do fornecedor $j \in J$

q_{js} = quantidade do ingrediente $s \in S$ oriunda do fornecedor $j \in J$

w_j = quantidade de resíduo não aproveitado da carga do fornecedor $j \in J$

L_{is} = limite inferior do ingrediente $s \in S$ na composição do produto $i \in I$

U_{is} = limite superior do ingrediente $s \in S$ na composição do produto $i \in I$

M = um número suficientemente grande

Variáveis

x_i = quantidade produzida do produto $i \in I$;

$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se a carga do fornecedor } j \in J \text{ é adquirida} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$

$r_i = \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \in I \text{ é produzido} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$

f_{is} = fração do ingrediente $s \in S$ que compõe o produto $i \in I$.

Modelo não linear

$$\text{Max} \sum_{i \in I} p_i x_i - \sum_{j \in J} c_j w_j y_j \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{i \in I} f_{is} x_i \leq \sum_{j \in J} q_{js} y_j \quad \forall s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} f_{is} = r_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$f_{is} \geq L_{is} r_i \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (4)$$

$$f_{is} \leq U_{is} r_i \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (5)$$

$$x_i \leq M r_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$f_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (9)$$

$$r_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (10)$$

A função objetivo (1) considera a maximização da receita descontando o valor referente ao resíduo não aproveitável das cargas adquiridas. Importante observar que ingredientes podem ser

armazenados para uma produção futura, mas o resíduo é computado integralmente no primeiro processamento dos insumos e venda dos produtos. A restrição (2) limita o uso de cada ingrediente na produção dos produtos a quantidade que pode ser obtida a partir das cargas adquiridas. A restrição (3) determina que a composição de um produto, caso este seja produzido, deve considerar todos os ingredientes da receita. As restrições (4) e (5) definem os limites (inferior e superior, respectivamente) da fração de cada ingrediente na composição de um determinado produto. A restrição (6) impõe que um produto só pode ser produzido (e vendido) caso seja tomada a decisão de produzi-lo. Por fim, as restrições (7) a (10) determinam o domínio das variáveis.

O modelo apresentado é não linear devido a restrição (2), uma vez que a fração dos ingredientes na composição dos produtos não é fixa e sim uma variável de decisão. Para linearizar o modelo faz-se necessário considerar a discretização da fração de cada ingrediente na composição dos produtos. Considerando o contexto do problema em estudo, uma discretização com passo unitário é suficiente para atender as exigências de flexibilização das receitas. De fato, existe um limite na precisão do maquinário que determina a composição dos ingredientes de cada produto e, principalmente, visualmente o consumidor não notará diferença entre duas receitas para um mesmo produto caso uma discretização maior seja utilizada.

No modelo linear as variáveis f_{is} , $i \in I$, $s \in S$, são substituídas por duas outras variáveis, $\hat{f}_{isk}$ e h_{isk} , em que o índice $k \in K = \{0, 1, 2, \dots, 100\}$ representa o percentual do ingrediente s na composição do produto i .

O modelo linear é formalizado conforme segue. Quando não definido explicitamente, a definição dos parâmetros e variáveis é igual a utilizada na formalização do modelo não linear.

Parâmetros

K = conjunto de discretização de 0 a 100 com passo unitário, $\{0, 1, 2, \dots, 100\}$

Variáveis

$$h_{isk} = \begin{cases} 1, & \text{se o ingrediente } s \text{ for utilizado na proporção } k \text{ para produzir o produto } i \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

$\hat{f}_{isk}$ = quantidade do ingrediente s correspondente a fração k do produto i .

Modelo linear

$$\text{Max (1)}$$

Sujeito a

$$(6), (7), (8)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{\substack{k \in K: \\ L_{ilk} \leq k \leq U_{ilk}}} \frac{k}{100} h_{isk} = r_i \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{\substack{k \in K: \\ k \geq L_{isk}}} h_{isk} = r_i \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \hat{f}_{isk} \leq \sum_{j \in J} q_{js} y_j \quad \forall s \in S \quad (13)$$

$$\hat{f}_{isk} \geq \frac{k}{100} x_i - (1 - h_{isk}) M \quad \forall i \in I, \forall s \in S, \forall k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \hat{f}_{isk} = x_i \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$\hat{f}_{isk} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S, \forall k \in K \quad (16)$$

$$h_{isk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall s \in S, \forall k \in K \quad (17)$$

A restrição (11) determina a porcentagem dos produtos que farão parte da composição de um determinado produto, caso este seja produzido. Dito de outra forma, essa restrição determina a receita propriamente dita do produto. A porcentagem mínima de cada ingrediente na receita dos produtos é assegurada pela restrição (12). A restrição (13) corresponde a restrição de disponibilidade de cada ingrediente oriundo de diferentes fornecedores. A restrição (14) define a quantidade de cada ingrediente de acordo com a percentual exigido pela receita. A restrição (15) garante que um produto é composto pelas quantidades corretas dos ingredientes. As restrições (16) e (17) determinam o domínio das variáveis.

4. Resultados Computacionais

O modelo linear foi implementado em linguagem ZIMPL (Zuse Institute Mathematical Programming Language). As soluções foram encontradas com o uso do otimizador comercial IBM ILOG CPLEX 12.9.0.0.1 em um computador com processador Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU 2.11GHz e 8GB de memória RAM.

A indústria do estudo de caso utiliza formulação própria para elaboração de seus produtos Tipo 1 (produto A e B), Tipo 4 (produto C) e Tipo 5 (produto D), arroz Tipo 2 e 3 não são produzidos. A Tabela 2 apresenta os percentuais mínimo e máximo de cada tipo de grão na composição dos produtos. O produto A é considerado de primeira linha, e apresenta o maior valor agregado.

Tabela 2: Percentual mínimo e máximo de ingredientes dos produtos

Produto	Grão Inteiro	Barriga	Gessado	Canjição	Canjição Fino	Manchado
Percentual mínimo de ingredientes dos produtos						
produto A	95%	-	-	2%	-	-
produto B	60%	15%	-	7%	-	-
produto C	40%	10%	10%	30%	-	-
produto D	3%	-	51%	-	30%	6%
Percentual máximo de ingredientes dos produtos						
produto A	98%	-	-	5%	-	-
produto B	80%	25%	-	7%	-	-
produto C	50%	30%	30%	35%	-	-
produto D	6%	10%	80%	20%	35%	15%

Para fins de comparação entre a produção da indústria e a solução obtida com o modelo foram considerados os meses de março e abril de 2021. Na Tabela 3 é possível visualizar a capacidade da indústria e os tipos de grãos recebidos dos fornecedores no período.

Tabela 3: Capacidade, tipos de grãos e custo em março e abril 2021.

Fornecedor	F1	F2	F3	F4	F5
Insumos recebidos dos fornecedores - março de 2021					
Capacidade (ton)	2250	1500	750	1750	750
Custo (/kg)	R\$1,60	R\$1,66	R\$1,50	R\$1,62	R\$1,58
Inteiro	54%	50%	47%	45%	44%
Barriga	1%	2%	10%	7%	15%
Gessado	4%	6%	2%	2%	1%
Canjição	5%	6%	7%	8%	5%
Canjição Fino	4%	2%	2%	1%	1%
Manchado	0%	0%	1%	0%	1%
Insumos Recebidos dos Fornecedores - abril de 2021					
Capacidade (ton)	2217	1478	1220	1700	750
Custo (/kg)	R\$1,68	R\$1,66	R\$1,62	R\$1,69	R\$1,64
Inteiro	55%	53%	49%	53%	47%
Barriga	1%	4%	7%	8%	12%
Gessado	4%	3%	2%	2%	1%
Canjição	5%	6%	5%	4%	5%
Canjição Fino	4%	2%	2%	1%	1%
Manchado	0%	0%	1%	1%	1%

O planejamento da produção obtido com o modelo e aquele efetivamente realizado pela empresa apresentaram diferenças significativas, tanto em quantidade de produtos produzidos quanto na composição dos mesmos. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos pela resolução do modelo

e a produção efetivamente realizada nos períodos citados para cada produto, assim como os totais de grãos utilizados para produção e os percentuais de grãos inteiros utilizados nas formulações de cada produto.

Tabela 4: Resultados resolução modelo e simulação março e abril de 2021.

Produto	Prod. Modelo (kg)	Prod. Realizada	Dif. (%)	%Int. Modelo	%Int. Real
Comparação entre a produção e simulação e realizada em Março de 2021.					
produto A	2.483.455	2.332.680	+6%	54%	54%
produto B	1.193.071	1.727.070	-31%	26%	40%
produto C	642.320	18.180	+3500%	14%	0,4%
produto D	250000	269.220	-7,2%	5%	6%
Sobra	73.654	295.350	-75%		
Total	4.642.500	4.642.500			
Comparação entre a produção e simulação e realizada em abril de 2021.					
produto A	2.896.363	2.438.520	+18%	59%	58%
produto B	1.494.068	1.588.650	-6%	30%	38%
produto C	191.824	27.990	+685%	4%	1%
produto D	333.656	167.040	+99%	7%	4%
Sobra	99.909	739.150	-75%		
Total	4.642.500	4.642.500			

A simulação sugeriu um melhor aproveitamento de todos os ingredientes, visto que a solução do modelo sugere uma produção em quilos no mês de março maior, em um total de 4.568.846 kg. No entanto, o percentual no produto B foi de 26% no modelo e de 40% atingido no mês de março. É possível verificar que, graças a flexibilização adicionada no modelo, a simulação sugeriu concentração para os ingredientes que divergem das utilizadas pela empresa, sobretudo para os produtos de linhas mais baratas.

Os resultados obtidos na comparação do mês de abril também foram favoráveis a solução obtida com modelo desenvolvido. O percentual no produto A, com maior valor agregado continuou o maior entre todos os produtos, concentrando 58% do total na solução fornecida pela indústria, enquanto no modelo representou 59%, totalizando 2.896.363 quilos. A solução do modelo permite realocação menor no produto B e maior nos produtos C e D em relação ao que foi realizado na indústria. A quantidade de produtos (em kg) sugerida pela simulação para o *mix* de produção foi 16,43% superior daquela efetivamente realizada, totalizando 4.915.911 kg, 693.711 kg a mais do que foi realizado pela indústria no período analisado.

Quanto ao faturamento por tipo de produto para o mês de março, observou-se uma distribuição diferente entre o que modelo apresentou e o que de fato foi vendido. O percentual entre o produto primeira linha, com maior valor agregado, foi exatamente o mesmo. A simulação obteve maior faturamento no produto C, pois utilizou formulação diferente da que foi realizada pela empresa. No mês de abril, foi observado padrão similar no faturamento por tipo de produto, onde o total de faturamento o modelo foi 15,12% maior do que o valor identificado no mês de abril na indústria.

5. Considerações finais

Os resultados obtidos por meio da simulação realizada com a resolução do modelo proposto é significativo e sugere avaliar uma mudança do paradigma tradicional de direcionar o faturamento somente para os itens de mais valor agregado. Com a resolução do modelo foi possível mostrar que o resultado não só alterou o *mix* de produtos produzidos, mas permitiu uma flexibilização das formulações dos ingredientes. Outro fator importante que deve ser levado em consideração é o fato da simulação sugerir um melhor aproveitamento dos ingredientes na medida que deixa a menor quantidade possível em estoque.

Nos dois meses referentes ao que foi realizado na indústria, percebeu-se que a quantidade de ingredientes, especialmente os grãos gessados, canjicão e canjicão fino, ficaram com saldos significativos no estoque da empresa. Além do valor disponível em estoque, ele representa um maior custo operacional na medida em que a mercadoria transita para os *bags* e depois é novamente manuseada. Além dos custos com estoques, destaca-se o aumento de 15,12% no faturamento, tendo como base o mês de abril, na comparação das decisões simuladas e a realidade da indústria.

Como indicação de trabalhos futuros, sugere-se aprimorar o custo dos estoques, uma vez que, considerando que os grãos remanescentes têm um percentual de defeitos maior, é adequado reavaliar os custos de forma mais detalhada, para permitir uma melhor adequação à realidade das soluções fornecidas pelo modelo. Por fim, é importante destacar o êxito do trabalho desenvolvido no sentido de aproximar a pesquisa acadêmica do meio industrial, possibilitando aplicação direta dos conhecimentos desenvolvidos em sistemas de produção reais.

Referências

- Bootaki, B., Mahdavi, I., e Paydar, M. M. (2016). New criteria for configuration of cellular manufacturing considering product mix variation. *Computers & Industrial Engineering*, 98:413–426.
- Chang, K.-H. (2016). Risk-controlled product mix planning in semiconductor manufacturing using simulation optimization. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 29(4):411–418.
- Freitas, E. O. N. (2021). Modelo para auxiliar a tomada de decisão dos processos de compra e beneficiamento em um engenho de arroz. In *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção*. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.
- Garba, M. K., Banjoko, A. W., Yahya, W. B., e Gatta, N. F. (2020). On the use of linear programming model approach in profit optimization of a product mix company.
- Ginting, M., Kirawan, M., e Marpaung, B. (2018). Product mix optimization on multi-constraint production planning-a fuzzy mixed integer linear goal programming (fmilgp) approach: A single case study. In *MATEC Web of Conferences*, volume 204, p. 02004. EDP Sciences.
- Lima, R. E., Borges, F. C., da Silveira Espindola, J., e Leonardi, A. (2022). Potencial de desenvolvimento regional através do reaproveitamento dos resíduos do beneficiamento do arroz no rio grande do sul. *COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional*, 19(Edição Especial 1 (SOBER), março,):4–24.
- Oliveira, M. e Amato, G. W. (2021). *Arroz: tecnologia, processos e usos*. Blucher, São Paulo.
- Onwubolu, G. C. e Mutingi, M. (2001). Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 39(9): 1897–1910.