

VIABILIDADE DOS USOS DA PESQUISA OPERACIONAL EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL COM DIFERENTES CULTURAS DE HORTALIÇAS

Marcela Alves Silva

Melina Paula Batista Garcia

Resumo: O estudo aqui realizado teve como principal objetivo aplicar e apresentar os benefícios da implantação das técnicas da pesquisa operacional (PO) propriedades agrícolas, podendo comparar os resultados antes utilizados com as melhorias propostas pelo Solver, ainda mostrar a eficiência na aplicação técnicas e indicar a importância da utilização da PO voltado às pequenas propriedades rurais que apresentam déficit na inovação e baixas condições financeiras para investir em grandes tecnologias. O segmento do agronegócio envolvendo o ramo de hortaliças tem a oportunidade de alavancar o crescimento no número de empregos, principalmente no setor primário, que ocorre devido à ampla necessidade por mão de obra em todas as fases de produção. Sendo assim, a pesquisa utilizou o estudo de caso em uma pequena propriedade rural de hortaliças, localizada no município de Anhumas, interior de São Paulo. Para a elaboração da modelagem, foi necessário identificar os problemas da propriedade, averiguar os recursos incluindo suas disponibilidades determinado limite de tempo e incrementar dados necessários para formular os problemas. Através das informações obtidas pela coleta de dados, foi elaborada uma planilha geral das informações iniciais na propriedade, contendo dados relevantes para a estruturação das futuras pesquisas. Um dos principais resultados obtidos através das ferramentas trabalhadas, foram as possibilidades de concluir que algumas culturas de hortaliças não são viáveis para obter lucratividade a não ser que eleve o preço de venda ao mercado e reduza o custo de compra. Verificou-se, também, através da análise de sensibilidade que a área total para produtividade da propriedade que é equivalente a 450m², onde desses, apenas 277,78m² são utilizados para o plantio das hortaliças. Com isso, a PO possibilita que o produtor saiba evidenciar quais são os recursos que podem ser otimizados maximizando a produção das hortaliças e minimizando os seus custos e assim, com os resultados apresentados, ser capaz de analisar as possíveis incertezas em quais culturas plantar, suas respectivas quantidades e valores de acordo com a necessidade do mercado. Através do intuito de trazer melhorias e sucessão no negócio, e que futuramente planeja-se utilizar a propriedade para estudo de pesquisas avançadas, integrando aspectos que não foram inseridas nesse projeto e possíveis alternativas para um novo modelo de gestão das culturas.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional. Agricultura. Hortaliças. Pequena Propriedade Rural. Viabilidade Econômica.

FEASIBILITY OF USING OPERATIONAL RESEARCH ON A SMALL RURAL PROPERTY WITH DIFFERENT VEGETABLE CROPS

Summary: The main objective of the study carried out here was to apply and present the benefits of implementing operational research (OP) techniques on agricultural properties, being able to compare the results previously used with the improvements proposed by Solver, also showing the efficiency in applying techniques and indicating the importance of using PO aimed at small rural properties that have a deficit in innovation and low financial conditions to invest in major technologies. The agribusiness segment involving the vegetable sector has the opportunity to boost growth in the number of jobs, mainly in the primary sector, which occurs due to the widespread need for labor in all phases of production. Therefore, the research used a case study in a small rural vegetable farm, located in the municipality of Anhumas, in the interior of São Paulo. To prepare the modeling, it was necessary to identify the property's problems, investigate the resources including their availability within a certain time limit and increase the data necessary to formulate the problems. Using the information obtained through data collection, a general spreadsheet of initial information on the property was created, containing relevant data for structuring future research. One of the main results obtained through the tools used was the possibility of concluding that some vegetable crops are not viable for profitability unless the sales price is raised to the market and the purchase cost is reduced. It was also verified, through sensitivity analysis, that the total area for productivity of the property is equivalent to 450m², of which only 277.78m² are used for planting vegetables. With this, the PO allows the producer to know which resources can be optimized, maximizing the production of vegetables and minimizing their costs and thus, with the results presented, being able to analyze the possible uncertainties in which crops to plant, their respective quantities and values according to market needs. With the aim of bringing improvements and succession to the business, and in the future it is planned to use the property to study advanced research, integrating aspects that were not included in this project and possible alternatives for a new crop management model.

Keywords: Operational Research. Agriculture. Vegetables. Small Rural Property. Economic viability.

1. Contextualização da pesquisa operacional na agricultura

Um dos maiores desafios na agricultura familiar, é o despreparo na gestão administrativa, que se manifesta através de: conhecimentos e recursos limitados, uso inadequado dos produtos disponíveis, custos e despesas não administrados, entre outros. Para pequenos produtores rurais, as dificuldades para implantação de tecnologia na produção agrícola acabam limitando o potencial de produtividade e a sua viabilidade econômica, sendo necessário uma ferramenta capaz de auxiliar o decisor em quais soluções deverá se apoiar.

Embora, estejam disponíveis no mercado agrícola várias ferramentas tecnológicas que priorizam fornecer acessibilidade e respostas mais rápidas na produção, o setor rural ainda enfrenta obstáculos em se aprimorar e criar uma relação com as tecnologias da informação (TI), impossibilitando a integração de melhores resultados às práticas da agricultura (AFFONSO, HASHIMOTO e SANT'ANA, 2015).

Barcelos, Evangelista e Segatto (2012), afirmam que a Pesquisa Operacional (PO) possui grande importância na gestão de pequenas e grandes propriedades, fazendo com que o produtor esteja preparado para utilizar as ferramentas disponíveis nas tomadas decisões e saiba encontrar soluções ótimas através de modelos matemáticos, sendo então, beneficiado com as informações extraídas da PO.

1.1 Importância da eficiência nas operações agrícolas

Com o elevado índice de relevância do agronegócio no atual cenário do país, fica evidente a importância do gestor em buscar estratégias econômicas e precisas que o auxilie na tomada de decisão e traga resultados satisfatórios para o seu negócio. Sendo assim, reforça-se ainda mais, que a PO é uma metodologia robusta, que ao ser aplicada na agricultura, visa otimizar os lucros, auxiliar na tomada de decisões e resolver problemas reais que afetam a produtividade agrária (COELHO, NASCIMENTO e RODRIGUES, 2008).

Para Trajano (2021), é notável o baixo número de produtores rurais que se apropriam da utilização do apoio contábil como auxílio na tomada de decisões das propriedades. Através desta afirmação, torna-se, ainda mais, evidente a importância da aplicação de técnicas matemáticas, tais como a PO, para auxiliar os produtores a

planejarem seus negócios, registrar os históricos ocorridos na propriedade e assim ter a capacidade de usar como comparativo os resultados atuais com os de momentos passados, podendo equiparar quais foram os possíveis avanços e/ou retrocessos da empresa.

As técnicas de otimização da PO são capazes de auxiliar todo o processo agrícola desde o planejamento inicial até a colheita final, se tornando ferramenta útil para o produtor garantir segurança quanto às questões prejudiciais nas atividades rurais (MONTONE et al., 2013). Estes fatores prejudiciais permitem afetar grande parte da produtividade e lucratividade da agricultura caso não sejam brevemente solucionados, como aumentos nos custos, deficiências no solo, disponibilidade de insumos, mão de obra, entre outros.

1.2 Objetivos do estudo e estrutura do artigo

Diante desse contexto, o objetivo principal do artigo é a eficiência na aplicação técnicas e apresentar a importância da utilização da PO, principalmente voltado às pequenas propriedades rurais que apresentam déficit na inovação e baixas condições financeiras para investir em grandes tecnologias. Sendo assim, a pesquisa utilizou o estudo de caso de uma pequena propriedade rural de hortaliças, localizada no município de Anhumas, interior de São Paulo, com o intuito de, através das técnicas da Programação Linear modeladas no suplemento Solver do Microsoft Excel, apresentar melhores estratégias, diminuir gastos, maximizar o lucro e favorecer o crescimento da produção.

2. Conceitos fundamentais de pesquisa operacional

A PO é o campo da matemática aplicada que utiliza modelos matemáticos para apoiar a tomada de decisões. Pois, quando um problema é encontrado, uma abordagem matemática deve ser adotada para projetar um modelo, considerado um elemento chave, e assim, incorporá-lo a um ambiente de software com o objetivo de encontrar a melhor solução dentre as diversas alternativas disponíveis (FERRAZ, 2022).

Borges (2018), afirma que a PO teve seus primórdios durante a Segunda Guerra Mundial, quando cientistas de diferentes estruturas se uniram para

solucionar problemas militares. Devido à sua natureza quantitativa, a PO fornece informações para uma tomada de decisão com fontes confiáveis, analisa as variabilidades das situações presentes no campo, considera cenários e desenvolve soluções para problemas por meio de modelos matemáticos. Estes modelos apresentam variáveis, restrições e funções objetivos, todos sendo submetidos a uma avaliação minuciosa através dos parâmetros do solver.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO):

(...) através do uso de técnicas de modelagem matemática e eficientes algoritmos computacionais, a PO pode auxiliar o decisor na análise dos mais variados aspectos e situações de um problema complexo, permitindo a tomada de decisões efetivas e a construção de sistemas mais produtivos.

Em qualquer cenário da programação matemática o objetivo é encontrar soluções. Através desses resultados, é possível visualizar e economizar tempo e recursos, possibilitando incrementos de produtividade e qualidade. Contudo, a PO, pode ser denominada como o conhecimento que engloba o estudo, desenvolvimento e aplicação de métodos analíticos de nível avançado com o intuito de auxiliar na tomada de decisões aprimoradas (DANTAS, SILVA e GUIMARÃES, 2021).

2.1 Aplicações da pesquisa operacional na agricultura

Segundo informações do Portal EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2023), o segmento do agronegócio envolvendo o ramo de hortaliças tem a oportunidade de alavancar o crescimento no número de empregos, principalmente no setor primário, que ocorre devido à ampla necessidade por mão de obra em todas as fases de produção, desde o plantio até o envio ao comércio. Uma parcela significativa das hortaliças no país é produzida e comercializadas por pequenos agricultores rurais, frequentemente denominados como “agricultores familiares”, onde a ênfase da produção tem sido direcionada principalmente para atender a demanda do mercado nacional.

Segundo Nascimento et al., (2023):

A agricultura e o setor olerícola necessitam cada vez mais da tecnologia para elevar a quantidade e a qualidade na produção de alimentos e proporcionar redução de custos, se tornando mais competitiva. Com o crescimento da população mundial e o aumento da demanda por alimentos frescos e saudáveis, problemas como a necessidade de aumento da produtividade (sem o aumento de abertura de novas áreas, pela preocupação com o meio ambiente e também pela instabilidade das condições climáticas) nos obriga a utilizar práticas “mais inteligentes”.

A agricultura se empenha de maneira contínua, atribuindo formas de expandir suas práticas e aprimorar seus processos, incluindo a redução de desperdícios e maximizando a produtividade da sua área cultivada. Para isso, a Programação Linear pode ser aplicada com o intuito de planejar quais serão as culturas a serem cultivadas na propriedade e as quantidades de cada insumo, visando aumentar o retorno da melhor maneira possível dentro das limitações dos recursos disponíveis, e assim, otimizá-los (NUNES et al., 2020).

De acordo com Reghim (2018), diversas propriedades rurais se deparam com a dúvida de quais culturas produzir a fim de otimizar a rentabilidade, tornando-se evidente a importância do investimento e conhecimento em sistemas que os auxiliem na tomada de decisões. As perspectivas ainda, visam apresentar ao produtor rural um planejamento amplo e conciso sobre os produtos cultivados, tendo então o controle de quais culturas lhe oferecem maiores lucros e quais aspectos da área deveriam ter o custo operacional reduzido.

2.2 Estudos relacionados à otimização de operações agrícolas

O aumento considerável do agronegócio brasileiro nos últimos anos, tem posicionado o país com destaque no cenário mundial como um dos principais exportadores de produtos alimentícios. Entretanto, essa expansão tem impulsionado significativamente a pesquisa e os avanços tecnológicos dentro da área, tornando cada vez mais importante a aplicação de técnicas operacionais para otimização das propriedades agrícolas. Com base em dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a agricultura familiar é responsável por mais de 50% do abastecimento alimentar das famílias brasileiras, registrando progressos significativos no mercado (FILHO, 2020).

Com o aumento da população, tornou-se crucial encontrar maneiras de otimizar o fornecimento de produtos agrícolas. Nesse contexto, a aplicação e utilização da Programação Linear na agricultura com o intuito de apresentar a maximização dos resultados tornou-se fundamental nas tomadas de decisões. Essa abordagem desempenha um papel vital na minimização de custos e no estímulo ao crescimento da produção das propriedades, denominando-se como um recurso fundamental para sustentar e expandir a importância agrícola no Brasil. Com isso, a

PO juntamente à Programação Linear, abre portas para significativos avanços em todas as esferas da economia nacional. (NUNES et al., 2020).

Contudo, de acordo com Lopes et al. (2021), as ferramentas de tecnologias da informação ofertam a possibilidade de otimizar as operações agrícolas contribuindo com o processamento dos dados de maneira exata sendo efetuada com mais facilidade e rapidez, fazendo com que haja maior efetividade nos resultados, diminuição de tempo gasto e menores quantidades de erros.

3. Metodologia

O presente artigo baseou-se em uma pequena propriedade rural que produz e comercializa hortaliças, localizada no bairro Noite Negra do Município de Anhumas – SP.

A propriedade agrega, mensalmente, seis variedades de culturas como sendo: alface crespa (*Lactuca sativa var. crispa*), alface americana (*Lactuca sativa*), couve (*Brassica oleracea*), coentro (*Coriandrum sativum*), cebolinha (*Allium schoenoprasum*) e rúcula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*).

Foram das entrevistas realizadas com o produtor e que foi possível concluir que a deficiência de inovação implantada na área limita a eficiência e produtividade na produção das hortaliças.

Sabe-se que ausência de tecnologia nas pequenas propriedades rurais é um dos principais problemas operacionais na produção agrícola, e sua não implementação poderá acarretar desafios significativos na eficiência, produtividade e lucratividade. Estes fatores são responsáveis pela limitação de acesso às informações e desperdício ou gastos excessivos em insumos para obter os produtos cultivados.

Ainda, com o intuito de disponibilizar melhorias e benefícios para a gestão e operação da propriedade, foram aplicadas no estudo, técnicas da PO que auxiliassem o decisor a identificar e estudar os problemas e assim implementar um modelo matemático capaz de otimizar com precisão os resultados obtidos os colocando em prática.

Seguindo o intuito de promover técnicas eficazes nas produções agrícolas, o solver é uma das ferramentas da PO que oferece inúmeras vantagens para a produção como: otimização de recursos, solução de problemas complexos,

maximização de lucros, minimização de custos, aumento na produtividade e apoio à tomada de decisões, além de ser uma das tecnologias oferecem mais acessibilidade ao pequeno produtor rural. Sendo então, em conjunto à Programação Linear e implementação no Microsoft Excel, o meio de pesquisa utilizado para obter as soluções na propriedade estudada. Fazendo uso da coleta de dados que é um método que permite a união de informações, com o intuito de serem analisadas e interpretadas, a fim de obter resultados seguros que sejam capazes de auxiliar o produtor na tomada de decisões.

Para a elaboração da modelagem, foi necessário identificar os problemas da propriedade, averiguar os recursos incluindo suas disponibilidades determinado limite de tempo e incrementar dados necessários para formular os problemas.

Foi estruturado um roteiro de pesquisa, sendo estes necessários para a estrutura geral do trabalho, apresentando dados exatos e reais, para assim, ser possível formular os problemas e obter resultados que beneficiem o produtor.

A análise foi esquematizada através dos seguintes tópicos:

- Entrevistas: houve uma interação direta junto ao proprietário em busca de informações que cooperasse no processo de investigação do local, coleta de dados qualitativos e registro das culturas locais;
- Registro fotográfico: com a autorização do produtor, foi permitido o uso de imagens para registro dos canteiros de hortaliças e recursos hídricos utilizados;
- Relatórios: através das respostas obtidas com o levantamento de dados, foram elaboradas planilhas para visualizar as respostas necessárias e assim, formular as técnicas da pesquisa operacional na propriedade.

Através das informações obtidas pela coleta de dados, foi elaborada uma planilha geral das informações iniciais na propriedade, contendo dados relevantes para a estruturação das futuras pesquisas, conforme apresentadas abaixo:

Figura 1: Coleta de dados para levantamento das informações iniciais.

Culturas	M ² por canteiro	Quantidade de canteiros	Quantidade de plantas p/ canteiros	Tipo de adubação	Tipo de esterco
<i>Alface Americana</i>	15 m ²	3	180	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha
<i>Alface Crespa</i>	15 m ²	4	180	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha
<i>Cebolinha</i>	15 m ²	3	240	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha
<i>Coentro</i>	15 m ²	2	240	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha
<i>Couve</i>	15 m ²	3	65	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha
<i>Rúcula</i>	15 m ²	2	240	NPK 20 - 05 - 20	Esterco de Galinha

Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, com os dados coletados, apresentam-se os resultados da propriedade, considerando a análise dada por uma produção mensal, no entanto, todas as restrições se limitam a uma disponibilidade limitada de recursos.

4. Formulação dos Problemas:

A PO atua em diversos ramos e cada um apresenta um método de aplicação diferente, um desses métodos é a Programação Linear. Para Evaristo (2020), a PL se forma através de um conjunto de técnicas de otimização e seu principal objetivo é desenvolver as variáveis do problema obtendo uma solução ótima.

Ainda, segundo Evaristo (2020), a construção do modelo matemático deve seguir os passos: definição das variáveis de decisão, função objetivo e identificação das restrições.

Dessa forma, pode-se formular um problema de maximização como segue:

$$\text{Otimizar, } \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Na Programação Linear existem formulações para solucionar os modelos matemáticos, sendo a de forma geral:

$$\begin{aligned} \text{Max/Min } Z &= C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n \\ \text{Sujeito à: } &a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \{ \leq, =, \geq \} b_1 \\ &a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \{ \leq, =, \geq \} b_2 \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ &a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \{ \leq, =, \geq \} b_m \\ \text{Não negatividade: } &x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

Onde,

Z: representa a função objetivo;

C: é a matriz de colunas formadas pelos coeficientes de custos;

X: são as colunas formadas pelas variáveis de decisão;

A: é o coeficiente / matéria prima utilizada;

B: representam os recursos disponíveis de cada variável.

No entanto, a programação linear, se tratando de problemas de otimização, busca a maximização dos lucros através da função-objetivo e assim, obtém a chamada “solução ótima”.

5. Implementação e Resultados

A aplicação da PO desempenha uma importância significativa em propriedades rurais, principalmente para aquelas que apresentam déficit tecnológico, como no estudo de caso da propriedade de hortaliças em estudo. E assim, gerar as informações necessárias em uma planilha no Microsoft Excel, de modo a maximizar o estudo e orientar como aumentar a produção.

Além desses fatores, a adaptação da PO na propriedade deve ser adotada o quanto antes, a fim de auxiliar o produtor na gestão de tomadas de decisão de nível complexo, podendo minimizar os desperdícios e aumentar a rentabilidade.

5.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos

O artigo foi elaborado apontando como variáveis de decisão seis tipos de hortaliças, que são elas: alface americana, alface crespa, cebolinha, coentro, couve e rúcula. Na rotina de cultivo e produção, o produtor alterna as variáveis mensalmente conforme a demanda de mercado e variação climática que pode afetar algumas culturas. A propriedade conta com quantidades fixas de insumos, conforme descritos na figura 2:

Figura 2: Variáveis de decisão

X1	Quantidade a ser produzida de Alface Crespa
X2	Quantidade a ser produzida de Alface Americana
X3	Quantidade a ser produzida de Cebolinha
X4	Quantidade a ser produzida de Couve
X5	Quantidade a ser produzida de Coentro
X6	Quantidade a ser produzida de Rúcula

Fonte: Autor (2023).

Analisando os dados e as metas do proprietário, é possível apresentar uma busca de garantia de otimização das hortaliças e geração de lucratividade sobre elas. Assim, aplica-se a “Função Objetivo”, que tem como objetivo a maximização do lucro, com isso, o preço de venda ao comércio é R\$2,50 por unidade (maço - planta). Ainda, considerando o valor unitário de planta e sua quantidade total, têm-se o valor mensal de cada canteiro, conforme apresentado na Figura 3:

Figura 3: Função Objetivo

	PRODUTO	PREÇO DE VENDA
	Alface Crespa	R\$ 2,50
	Alface Americana	R\$ 2,50
	Cebolinha	R\$ 2,50
	Couve	R\$ 2,50
	Coentro	R\$ 2,50
	Rúcula	R\$ 2,50

MAX L:	450X1	+	450X2	+	600X3	+	162,5X4	+	600X5	+	600X6
---------------	-------	---	-------	---	-------	---	---------	---	-------	---	-------

Fonte: Autor (2023).

A seguir, foram estabelecidas as quantidades de recursos necessárias por canteiro de hortaliças e sua disponibilidade mensal, e posteriormente, todas as restrições do modelo. Considerando a análise do problema dado a uma produção mensal, todas as condições são limitadas obedecendo o critério de disponibilidade para utilização dos recursos. Segue as informações quanto aos recursos e restrições utilizados nas figuras 4 e 5:

Figura 4: Quantidade e disponibilidade de recursos.

	M² de canteiros	Plantas	Esterco de Galinha	Adubo - NPK	Água	Semente
Alface Crespa	15m ²	180	45kg	0,9kg	1350l	3
Alface Americana	15m ²	180	45kg	0,9kg	1350l	3
Cebolinha	15m ²	240	45kg	0,9kg	1350l	3
Couve	15m ²	65	45kg	0,9kg	1350l	3
Coentro	15m ²	240	45kg	0,9kg	1350l	2
Rúcula	15m ²	240	45kg	0,9kg	1350l	6
Disponibilidade	450	4.000	1.000	25	25.000	-

Fonte: Autor (2023).

Figura 5: Restrições do problema

1	Área em metros quadrados
2	Quantidade de plantas por canteiro
3	Sementes de alface crespa
4	Sementes de alface americana
5	Sementes de cebolinha
6	Sementes de couve
7	Sementes de coentro
8	Sementes de rúcula
9	Esterco Natural
10	Adubo N-P-K
11	Água

Fonte: Autor (2023).

Inicialmente, foi necessário aplicar a coleta dos dados em uma planilha no Microsoft Excel para apurar as informações com precisão e coletar os resultados através dos parâmetros do Solver. A “Função objetivo” apresenta o valor de cada coeficiente, ou seja, o valor total em reais de cada canteiro, referente às suas respectivas culturas de hortaliças. Os “resultados” demonstram a quantidade de canteiros, em uso, referente a cada cultura e a sua maximização de lucro mensal. Por fim, foi inserida a modelagem das restrições, obtendo através do solver os resultados “LEE” – quantidade de recursos utilizados, conforme descritos na figura 6:

Figura 6: Planilha da modelagem no Excel para implementação do Solver.

FUNÇÃO OBJETIVO								
Variáveis	X1	X2	X3	X4	X5	X6		
Coefficientes	450	450	600	162,5	600	600		
RESULTADOS								
Variáveis	X1	X2	X3	X4	X5	X6		
Valor de variáveis	4,62962963	3,703703704	3,472222222	2,5462963	2,0833333	2,0833333		
Valor de Lucro	8747,106481							
RESTRICÕES								
Linhas	X1	X2	X3	X4	X5	X6	LEE	LDE
1	15	15	15	15	15	15	277,7778	450
2	180	180	240	65	240	240	3498,843	4000
3	540	0	0	0	0	0	2500	2500
4	0	540	0	0	0	0	2000	2000
5	0	0	720	0	0	0	2500	2500
6	0	0	0	195	0	0	496,5278	650
7	0	0	0	0	480	0	1000	1000
8	0	0	0	0	0	1440	3000	3000
9	45	45	45	45	45	45	833,3333	1000
10	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	16,66667	25
11	1350	1350	1350	1350	1350	1350	25000	25000

Fonte: Autor (2023).

Nas figuras 7 e 8, através das aplicações dos dados nos parâmetros do solver, foram investigados, com apoio da análise de sensibilidade, os efeitos que determinadas alterações das variáveis causariam na solução ótima com base no que o proprietário esteja disposto a otimizar.

Figura 7: Células variáveis através da análise de sensibilidade gerada pelo suplemento solver.

Células Variáveis						
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$I\$9	Valor de variáveis X1	4,62962963	0	450	1E+30	287,5
\$J\$9	Valor de variáveis X2	3,7037037	0	450	1E+30	287,5
\$K\$9	Valor de variáveis X3	3,472222222	0	600	1E+30	437,5
\$L\$9	Valor de variáveis X4	2,5462963	0	162,5	287,5	162,5
\$M\$9	Valor de variáveis X5	2,083333333	0	600	1E+30	437,5
\$N\$9	Valor de variáveis X6	2,083333333	0	600	1E+30	437,5

Fonte: Autor (2023).

Figura 8: Análise de sensibilidade da tabela de restrições gerada pelo suplemento solver.

Restrições						
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
§O\$14	Área m ²	277,7777778	0	450	1E+30	172,2222222
§O\$15	Plantas por canteiro	3498,842593	0	4000	1E+30	501,1574074
§O\$16	Semente Alf. Crespa	2500	0,532407407	2500	1375	425
§O\$17	Semente Alf. Americana	2000	0,532407407	2000	1375	425
§O\$18	Semente Cebolinha	2500	0,607638889	2500	1833,333333	566,6666667
§O\$19	Semente Couve	496,5277778	0	650	1E+30	153,4722222
§O\$20	Semente Coentro	1000	0,911458333	1000	1222,222222	377,7777778
§O\$21	Semente Rúcula	3000	0,303819444	3000	3666,666667	1133,333333
§O\$22	Esterco Natural	833,3333333	0	1000	1E+30	166,6666667
§O\$23	Adubo NPK	16,66666667	0	25	1E+30	8,333333333
§O\$24	Água	25000	0,12037037	25000	1062,5	3437,5

Fonte: Autor (2023).

Ao analisar as figuras 7 e 8, conclui-se que esse relatório emite duas tabelas, sendo elas: variáveis e restrições.

A tabela de células variáveis expõe o “Valor Final” das variáveis recomendando a quantidade de cada canteiro indicada para produção. Logo após, é apresentado o “Custo Reduzido”, que indica o impacto provocado no “Coeficiente Objetivo”, ou seja, exibe o valor que o coeficiente da função deveria ser modificado para que o valor da variável seja diferente de zero, contudo, todas as variáveis do custo reduzido que sejam “zero” garantem a solução ótima. As colunas “Permitido Aumentar” e “Permitido Reduzir” informam a indicação do quanto se pode aumentar ou reduzir nos coeficientes da função, sem afetar o valor do preço sombra, e assim, manter a viabilidade da questão.

No campo das restrições, observa-se inicialmente na coluna “Valor Final” as quantidades utilizadas dos recursos mensais disponíveis, como por exemplo, foram utilizadas 277,78m² para produção das hortaliças tendo como sua disponibilidade total (Restrição Lateral R.H.) uma área equivalente à 450m², ou seja, há uma folga de aproximadamente 172m² que poderia ser aproveitada com a criação de novos canteiros ou outras práticas da agricultura. O campo seguinte apresenta o “Preço Sombra”, que indica a faixa de aumentos ou decréscimos permitidos sem que haja mudanças no resultado ótimo dadas possíveis mudanças na disponibilidade da restrição. Em seguida, é apresentado a “Restrição Lateral R.H” que limita a quantidade necessária para cada restrição, ou seja, sua disponibilidade. E por fim, encontra-se as colunas “Permitido Aumentar” e “Permitido Diminuir”, indicando

quanto o coeficiente da função-objetivo pode aumentar ou reduzir sem que altere o valor do “Preço Sombra”.

5.3 Análise das melhorias alcançadas em termos de eficiência e produtividade

Em síntese, através do relatório de sensibilidade, pôde ser analisado e interpretado detalhadamente quais parâmetros oferecem maior eficiência na produtividade.

Na tabela de restrições, é capaz de interpretar que dentre as seis culturas disponíveis na propriedade, apenas a couve poderia ser implementada para criação de novos canteiros, pois é a única que apresenta disponibilidade de sementes, conforme comparado com “Final Valor” e “Restrição Lateral R.H.”.

Portanto, ressalva-se que para a implantação de novos canteiros, devem ser analisadas todas as demais restrições para concluir se esta é viável e se a propriedade dispõe de recursos suficientes, como por exemplo, no modelo matemático montado, a área, o esterco natural e o adubo apresentam disponibilidade para realizar novos canteiros de couve, porém, a quantidade de água utilizada mensalmente já atingiu o limite disposto da propriedade, se tornando incapaz o cultivo da planta caso o produtor não opte em melhorias nesse quesito para gerar maior rentabilidade com novos canteiros.

6. Discussão e Análise de resultados

O trabalho proposto na pequena propriedade rural de hortaliças, localizada no município de Anhumas-SP, apresentou, após uma coleta de dados aplicada nas técnicas da PO, propostas de melhorias na gestão das culturas e possíveis alterações na tomada de decisão para evitar prejuízos futuros.

Com base na estruturação do modelo matemático e dados levantados verificou-se que todas as culturas – com exceção da couve – podem ter um plantio relativamente alto, que sempre trará receita para o agricultor. No caso da couve, foi possível analisar que o produtor está adquirindo uma quantidade elevada em sementes que não estão sendo integralmente utilizadas, gerando uma despesa desnecessária para a propriedade, isso resulta com que o custo para manter esta cultura não supra o seu lucro. Ademais, tal análise apontou que uma compra

semente de couve, esterco natural e adubo NPK não aumentariam a lucratividade da propriedade até que a área cultivada fosse aumentada

7. Conclusão

Conclui-se que principais resultados obtidos através das ferramentas trabalhadas, foram a possibilidade de que algumas culturas de hortaliças não são viáveis para obter lucratividade a não ser que eleve o seu preço de venda ao mercado e reduza o custo de produção e que através da análise de sensibilidade que a área total para produtividade da propriedade é equivalente a 450m², onde desses, apenas 277,78m² são utilizados para o plantio das hortaliças, deixado claro que o uso da programação operacional possibilita que o produtor saiba evidenciar quais são os recursos que podem ser otimizados maximizando a produção das hortaliças e minimizando os seus custos e assim, com os resultados apresentados, ser capaz de analisar as possíveis incertezas e quais culturas e quantidades plantar e valores de acordo com a necessidade do mercado, mostrando a importância da PO para pequenas propriedades.

Referências

AFFONSO, Elaine Parra et al. Uso de tecnologia da informação na agricultura familiar: Planilha para gestão de insumos. **Biblios Journal of Librarianship and Information Science**, n. 60, p. 45-54, 2015.

Artigo - Oportunidades de Automação na Cadeia Produtiva de Hortaliças no Brasil. Embrapa.br. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/82708556/artigo---oportunidades-de-automacao-na-cadeia-produtiva-dehortalicas-no-brasil>

BARCELOS, Bartholomeo Oliveira; EVANGELISTA, Mário Luiz Santos; SEGATTO, Sara Schafer. A importância e a aplicação da pesquisa operacional nos Cursos de graduação em Administração. **RACE-Revista de Administração, Contabilidade e Economia**, v. 11, n. 2, p. 381-405, 2012.

DE RIBAMAR RIBEIRO FILHO, José; TAHIM, Elda Fontenele. Inovação e contingencialidade na agricultura familiar. **Revista Gestão & Conexões**, v. 11, n. 3, p. 87-107, 2022.

Engenharia de Produção - Campus Angicos | Pesquisa Operacional. Ufersa.edu.br. Publicado 2021. <https://engproducaoangicos.ufersa.edu.br/pesquisa-operacional/>

F, Coelho¹ A, Joaquim J, Nto² N, Luiz J, Rodrigues³ K. A PESQUISA OPERACIONAL (PO) E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA a OTIMIZAÇÃO DO PLANTIO de VERDURAS de MICROPRODUTORES - UM ESTUDO de CASO. http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2012/anais/arquivos/0344_0101_01.pdf

FERRAZ, Érica Kato Pacheco. **Pesquisa operacional aplicada à otimização na aquisição de testemunhos de rocha em campo de petróleo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FÖRSTER JUNIOR, Alfred. Método para otimização de rotas na agricultura. 2019.
LOPES, Klayton Antonio do Lago Lopes et al. Hortfertil: planilhas para interpretação da análise de solo e recomendação de adubação para hortaliças. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 557-565, 2021.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de et al. Algoritmo de alocação de recursos discretos com análise de envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 26, p. 225-239, 2006.

MONTONE¹, Verona O. et al. Pesquisa Operacional aplicada a decisões de planejamento agrícola: um caso de programação dinâmica.

MOREIRA FILHO, ROBERVAL GONÇALVES. OTIMIZAÇÃO NO CONTEXTO DA CADEIA PRODUTIVA DA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA APLICAÇÃO NA COLETA DE LEITE DO PEQUENO PRODUTOR.

NUNES, Andre Nicola et al. A Programação Linear na agricultura. In: **IX JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2020.

O que é pesquisa operacional? Sobrapo.org.br. Publicado Março 6, 2017. <https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>

Pesquisa Operacional / ensino e informação. Ensino e informação. Publicado 2015. <https://www.ensinoeinformacao.com/pesquisa-operacional>

REGHIM, Daniely Cristiny Lucas. **Aplicação da programação linear em problemas agrícolas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Sobre o tema - Portal Embrapa. Embrapa.br. Published 2017. <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>

TRAJANO, Carla Borges. A importância da contabilidade nas operações rurais. 2019.

VENTURA, Sergio Drumond; DELGADO, Angel Ramon Sanchez. MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM CUSTO EM INSUMOS FIXO. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 15, p. 1-11, 2022.

VIDAL, MC. 2011. Cultivo Orgânico de Hortaliças. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51. Horticultura Brasileira 29. Viçosa: ABH.S5964-S5968