

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

PEDRO HENRIQUE FERREIRA AZEVEDO

**MODELO DE APOIO À DECISÃO NA PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS AGRÍCOLAS: O caso de um produtor de
alimentos orgânicos**

Brasília – DF

2022

PEDRO HENRIQUE FERREIRA AZEVEDO

**MODELO DE APOIO À DECISÃO NA PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS AGRÍCOLAS: O caso de um produtor de
alimentos orgânicos**

Monografia apresentada ao Departamento de Administração como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Administração.

Professor Orientador: Prof.^a Dr.^a Silvia Araújo dos Reis

Brasília – DF

2022

Ferreira Azevedo, Pedro Henrique.

Cadeia de Suprimentos de Alimentos Orgânicos: Uma abordagem matemática para o planejamento das rotas do maquinário / Pedro Henrique Ferreira Azevedo. – Brasília, 2022.

52 f. : il.

Monografia (bacharelado) – Universidade de Brasília, Departamento de Administração, 2022.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Sílvia Araújo dos Reis, Departamento de Administração.

1. Pesquisa operacional. 2. Programação mista inteira. 3. Modelagem matemática. 4. Alimentos orgânicos. 5. Agricultura

PEDRO HENRIQUE FERREIRA AZEVEDO

**MODELO DE APOIO À DECISÃO NA PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS AGRÍCOLAS: O caso de um produtor de
alimentos orgânicos**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de Administração da Universidade de Brasília do
(a) aluno (a)

Pedro Henrique Ferreira Azevedo

Prof.^a Dr.^a Silvia Araújo Reis
Professora-Orientadora

Prof. Dr. Carlos Rosano Pena
Professor-Examinador

Prof. Dr. Victor Rafael Celestino
Professor-Examinador

Brasília, 29 de setembro de 2022

Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e não mediram esforços para que eu pudesse ter uma formação superior de qualidade.

Por todo o apoio dado ao longo da execução deste trabalho, agradeço à Prof.^a Dr.^a Silvia Araújo dos Reis, responsável por me apresentar, a fundo, a pesquisa operacional, área da minha pesquisa e que tenho um grande apreço.

RESUMO

O presente trabalho trata-se da proposta de um modelo matemático para apoio a decisão de um problema enfrentado por produtores agrícolas de médio porte. Inicialmente, uma pesquisa de levantamento de dados evidenciou a escassez de produção acadêmica que relacione a pesquisa operacional com a agricultura orgânica. Essa realidade denuncia a falta de apoio e incentivo que formas de cultivo alternativos enfrentam frente à produção em larga escala da chamada agricultura convencional. A utilização de substâncias nocivas surge com a justificativa de melhorar a produção e possibilitar resultados mais satisfatórios, tendo como objetivo último a geração de lucro. Entretanto, essa prática leva ao desenvolvimento de diversas doenças, tanto em humanos quanto em outras espécies; possui grande impacto na saúde do solo e prejudica grandemente o meio ambiente. Assim, como forma de produzir alimentos mais saudáveis, pautados em um compromisso ético com o meio ambiente e a saúde humana, surgiram as vertentes da agricultura alternativa, tais como a agricultura orgânica, a ecológica, a permacultura etc. O presente trabalho ocupou-se da elaboração de um modelo matemático baseado no problema do caixeiro viajante e que possibilitasse a redução de custos da produção orgânica. O principal problema apresentado foi o alto custo do óleo diesel, bem como a dificuldade em estabelecer o roteamento de tratores de maneira mais eficaz, fator-chave no preço final dos produtos. O mapeamento da questão se deu, sobretudo, após entrevistas feitas com um produtor rural de alimentos agrícolas orgânicos do Distrito Federal. Posteriormente, elaborou-se um modelo matemático a partir das ferramentas *Microsoft Excel* e *AIMMS Developer* na versão 4.84.3.4 64-bit, e o solver IBM CPLEX 20.1. Por fim, foi possível concluir que o modelo se mostra suficiente para resolver o problema de roteamento, se aplicado a até 14 atividades demandadas.

Palavras-chave: Pesquisa operacional; Programação mista inteira; Problema do caixeiro viajante; Modelagem matemática; Alimentos orgânicos; Agricultura orgânica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da produção orgânica no Brasil.....	24
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Contextualização	10
1.2 Formulação do problema.....	13
1.3 Objetivo Geral.....	14
1.4 Objetivos Específicos	14
1.5 Justificativa.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Cadeia de Suprimento de Alimentos Agrícolas / <i>Agri-food Supply Chain</i> (AFSC/ASC).....	17
2.2 Orgânicos no Brasil	19
2.3 Modelos de apoio à decisão aplicados à AFSC.....	23
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Tipologia e descrição geral dos métodos de pesquisa	26
3.2 Caracterização da organização objeto do estudo	27
3.3 População e amostra ou Participantes da pesquisa	27
3.4 Caracterização e descrição dos instrumentos de pesquisa.....	27
3.5 Procedimentos de coleta e de análise de dados	28
4 ENTREVISTA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	29
4.1 Entrevista	29
4.2 Problema.....	29
5 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	31
6 RESULTADO E DISCUSSÃO	39
6.1 Estudo de Caso	39
6.2 Análise e Descrição	39
7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	42
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE	48
Apêndice A – Tabela com os índices utilizados no modelo matemático	48
Apêndice B – Tabela com as variáveis utilizadas no modelo matemático.....	48
Apêndice C – Tabela com os parâmetros utilizados no modelo matemático	49
Apêndice E – Função Objetivo utilizada no modelo matemático.....	49
Apêndice D – Restrições matemáticas utilizadas no modelo matemático.....	50

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, com o avanço das tecnologias, diversos desafios foram impostos, em vista de uma realidade pautada no lucro, na inovação, na produção em larga escala e na utilização de tecnologias modernas. A agricultura não foge à regra. No âmbito da produção agrícola, a perspectiva industrial, conhecida popularmente como agronegócio, tem ganhado cada vez mais força e movimentado uma fatia generosa do PIB brasileiro, conforme apresentado em CEPEA (2021).

Em contrapartida, os produtores que se comprometem com uma produção mais respeitosa com o meio ambiente e a saúde, podem encontrar dificuldades para obter lucro, como é o caso da agricultura orgânica. Nesse modelo produtivo, os alimentos possuem o custo de produção mais elevado quando comparado às suas variantes produzidas a partir da chamada “agricultura convencional”, deixando para o produtor uma margem de lucro mais estreita.

São diversos os fatores que resultam no maior preço de venda para os produtos agrícolas orgânicos e uma vez que se tem ciência desses fatores, faz-se necessário que os produtores utilizem ferramentas e metodologias que os possam auxiliar na redução dos seus custos de produção.

Dentre os mecanismos que podem ser utilizados, encontram-se os modelos matemáticos de apoio à decisão, que nada mais são do que representações matemáticas de processos reais que, uma vez computadas, apresentam resultados que servem de insumo e auxiliam no processo de tomada de decisão.

Inicialmente, a realização de um levantamento de dados serve como forma de compreender o que as pesquisas científicas apontam sobre o assunto. De antemão, ressalta-se a pouca utilização da modelagem matemática com o fim de melhorar a produção orgânica no Brasil. Trabalhos encontrados nas buscas e que tenham adesão ao tema iluminaram o desenvolvimento dessa pesquisa, conforme descrito no Capítulo 2 desse trabalho, especialmente a partir dos apontamentos de Penteado (2001) sobre a relevância da agricultura orgânica, seu compromisso com a saúde, a vida, o meio ambiente e a sustentabilidade.

Em seguida, junto a uma propriedade rural, será necessário buscar processos que possam ser otimizados com o apoio de um modelo matemático e por fim, com o auxílio das ferramentas Microsoft Excel e AIMMS Developer, será desenvolvido um modelo que vise auxiliar produtores rurais agrícolas a minimizarem seus custos.

Em linhas gerais, esse trabalho se propõe a desenvolver e, posteriormente, disponibilizar para produtores rurais uma ferramenta de apoio à decisão para a cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas orgânicos.

1.1 Contextualização

Ao longo do desenvolvimento humano, diversas técnicas foram criadas a fim de garantir a existência do homem, bem como melhorar sua qualidade de vida. Nesse sentido, destacam-se algumas invenções, como a roda, a manipulação do fogo e, posteriormente, do ferro, a agricultura, o surgimento da escrita, da administração, das ciências etc. Especificamente quanto a agricultura, cabe dizer que esta aparece como um ponto chave na evolução humana, transformando os homens de caçadores-coletores em agricultores, ou de nômades em sedentários.

Historicamente, a agricultura se segmentou em diversos nichos e, com o avanço da ciência, tornou-se objeto de estudo e análise sistemática. Conceitos foram criados e constituíram-se diversas teorias sobre o assunto. Segundo Ahumada (2009), em relação à perspectiva de capacidade de armazenamento, os alimentos agrícolas são classificados em perecíveis, como frutas e vegetais frescos, cuja vida útil pode ser medida em dias, e não-perecíveis, aqueles que podem ser estocados por períodos mais longos, como grãos, batatas e castanhas.

Entende-se que desafios como os de lidar com a produção, com o controle de pragas e doenças, com a necessidade de escalar o rendimento, estão postos desde o surgimento da agricultura. Com o passar do tempo, a civilização se desenvolveu e inúmeras tecnologias foram criadas com o intuito de resolver tais desafios, principalmente após as duas grandes guerras mundiais e o aceleramento do capitalismo. Este último, foi o fator responsável pela mudança ocorrida, principalmente após os anos de 1980, do termo “agricultura” para “agroindústria”, ou ainda, “agronegócio” (HEREDIA; PALMEIRA; LEITE, 2010).

Não se restringindo à nomenclatura, a diferença aparece, sobretudo, na intenção da produção agrícola, que deixa de estar somente comprometida com a agricultura em si, mas adquire um caráter mais industrial, com uma produtividade em larga escala, objetivando interesses industriais e monetários.

Todavia, na atualidade, diante do impacto ambiental, social e biológico que esse movimento proporcionou, diversas alternativas vêm sendo criadas com vistas a

proporcionar a sustentabilidade e o compromisso com o bem-estar humano e com o planeta. Dentre estas iniciativas, de acordo com Penteado (2001) é possível citar as “agriculturas alternativa, biológica, orgânica, natural, biodinâmica, yamaguishiana, permacultura, agroflorestais etc.”, assim, “no mundo todo, quaisquer produtos obtidos através destes sistemas são conhecidos como alimentos orgânicos.” (PENTEADO, 2001, p. 9). A classificação dos orgânicos, intersecta tanto os alimentos perecíveis quanto os não-perecíveis. Os produtos alimentícios orgânicos certificados são produzidos levando em consideração o meio-ambiente e o bem-estar animal, e são controlados e certificados por organizações independentes de certificação; geralmente, são rotulados com o selo que ajuda os consumidores na identificação nos supermercados. (THØGERSEN, 2010).

Na agricultura biológica, outro nome frequentemente utilizado para o sistema orgânico de produção, o uso de insumos artificiais como fertilizantes, agrotóxicos, hormônios de crescimento e aditivos alimentares que podem originar problemas à saúde deve ser completamente desencorajado, assim como tecnologias com consequências ainda incertas, como é o caso de organismos geneticamente modificados (transgênicos). Por outro lado, nesse sistema produtivo é necessário incluir ações de conservação dos recursos naturais e considerar aspectos éticos nas relações sociais internas da propriedade e no trato com os animais (IFOAM, 2005).

A agricultura convencional se vale de alguns argumentos para abonar o uso dos agrotóxicos e de produtos químicos sintéticos, sendo que os principais são: o controle de doenças e a regulação do crescimento da vegetação (BRASIL, 2002; INCA, 2021).

Em relação ao Brasil, particularmente, sabe-se que o agronegócio ocupa um papel central na economia brasileira. De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2021), da Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo, apenas o ramo agrícola do setor do agronegócio, representou 18,5% do PIB brasileiro no ano de 2020.

Todavia, a esmagadora maioria dessa produção se dá a partir da agricultura convencional, ou seja, a agricultura orgânica representa uma parcela muito pequena de toda a produção agrícola do país. Estima-se que “apenas 15% dos brasileiros consomem esses produtos e seu consumo está bastante restrito às classes mais abastadas e esclarecidas da população, dado que seu preço é mais elevado.” (LEBNALANDGRAF, 2021).

Entretanto, em vista dos prejuízos causados pelo uso de agrotóxicos e demais químicos, “a busca por alimentos saudáveis, provenientes de sistemas de produção mais sustentáveis como os métodos orgânicos de produção, é uma tendência que vem se fortalecendo e se consolidando em nível mundial” (SOUZA, 2003). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), o Brasil viu um crescimento médio anual de 19% no número de unidades de produção orgânica entre 2010 e 2018, além de um crescimento médio anual de 17% do número de produtores orgânicos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) entre 2012 e 2019.

Apesar do exponencial crescimento da demanda por produtos orgânicos no país, é fato que esse mercado ainda se encontra muito restrito, principalmente pelo ideário da população brasileira de que o orgânico é mais caro e é “coisa de rico”. Essa crença se dá por diversos fatores, mas principalmente porque os alimentos agrícolas orgânicos sofrem com uma espécie de efeito “bola de neve”. O custo de produção mais elevado resulta em um preço de venda mais elevado quando comparado ao mesmo alimento produzido do modo convencional.

O preço mais elevado acaba afastando o consumidor deste tipo de produto, uma vez que consumidores, em sua maioria, buscam pelo preço mais baixo. Assim, sem conseguir aumentar seu faturamento, produtores de orgânicos, que, em sua maioria, são de pequena escala, não conseguem reinvestir em sua propriedade, aumentar sua produção e, conseqüentemente, alcançar a economia de escala (SANTIAGO, 2017).

Portanto, uma vez reconhecido que produtos agrícolas orgânicos ainda possuem um custo de produção mais elevado quando comparado aos produtos convencionais, é de grande importância que o produtor de orgânicos adote metodologias que o auxiliem a diminuir seus custos e aumentar a margem de lucro, como é o caso do modelo matemático apresentado neste trabalho.

Apesar do agronegócio ser um setor de extrema importância para a economia nacional, modelos matemáticos aplicados à área ainda são pouco explorados e, mesmo com o crescimento observado para o consumo de alimentos agrícolas orgânicos, a pesquisa operacional aplicada à agricultura e à pecuária ainda apresenta uma grande lacuna quando comparada a outras áreas como Petróleo e Biodiesel (REIS, 2017).

Diante disso, este trabalho visa explorar a área de modelos de apoio à decisão para o planejamento de cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas orgânicos.

1.2 Formulação do problema

O planejamento de uma cadeia de suprimentos pode ser dividido em três níveis, nomeadamente: estratégico, abordando decisões de efeito a longo-prazo; tático, para as decisões que são atualizadas com média frequência, semestralmente, anualmente; e operacional, tratando de decisões cotidianas, do dia a dia da organização. (SIMCHILEVI et al., 2014)

Alimentos agrícolas orgânicos requerem tratamento especial desde o seu plantio até a venda, passando pelo manuseio (USDA, 2016), fato esse que gera peculiaridades no planejamento desse tipo de cadeia de suprimento frente àquelas de produtos convencionais.

De acordo com Tivelli (2012), existem pelo menos sete grandes motivos que encarecem os produtos orgânicos, são eles: a certificação; o período de conversão da área e a barreira de isolamento para vizinhos; a maior demanda por mão de obra; a produtividade e a escala de produção menor do cultivo orgânico em relação ao cultivo convencional não orgânico; a lei de oferta e demanda; a assistência técnica deficiente, e; a falta de apoio à pesquisa e à transferência de tecnologia aos agricultores.

Em relação ao primeiro motivo, destaca-se que a produção orgânica, em oposição à produção convencional, necessita de certificação e aprovação, para que seus cultivos possam ser de fato comercializados como orgânicos. Isso se dá por sua especificidade, por não entrarem em contato com agrotóxicos, fertilizantes e inseticidas químicos, bem como pela não utilização de sementes transgênicas. Essa característica é o que condiciona o segundo motivo para o encarecimento do produto final, uma vez que, para evitar o contato da produção com seus vizinhos contaminados, o produtor se vê obrigado a deixar largas faixas de terra entre sua produção e o entorno.

Para tanto, faz-se necessária uma maior mão de obra, posto que a mecanização do processo se torna inviável em uma produção de pequena escala. Essa mão de obra, em vista do êxodo rural, tornou-se mais escassa e mais cara, contando como um terceiro motivo para o encarecimento do produto final. Soma-se a

isso a pequena escala de produção e, conseqüentemente, uma produtividade menor em relação à agricultura convencional.

Ademais, Tivelli (2012) aponta que o apoio governamental ao produtor orgânico é inexistente. A diferença em relação ao produtor convencional consiste no fato de que esse último possui assistência das grandes empresas de insumos, agrotóxicos, pesticidas, sementes transgênicas, entre outros produtos químicos, que oferecem seu auxílio para seus clientes. Desse modo, aqueles que optam pela não utilização desses produtos ficam à mercê da própria sorte.

Quanto ao último motivo listado, por vezes a universidade, bem como a pesquisa desenvolvida em seu interior, encontra-se em uma bolha, em diversos âmbitos parece estar distante das realidades das minorias, especialmente da população rural. Diante disso, essa comunidade se encontra distanciada dos avanços tecnológicos e de metodologias que possibilitariam uma significativa melhora nos meios de produção. Isso porque, grande parte dos produtores da agricultura orgânica são os pequenos e médio produtores, e uma boa parcela desse grupo corresponde à agricultura familiar.

Todos esses fatores, somados, resultam no maior preço de venda dos orgânicos. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre o assunto, preferencialmente aplicadas na realidade dos sujeitos produtores.

Portanto, este trabalho buscou, sobretudo, responder à seguinte questão de pesquisa: Qual o modelo de apoio à decisão em uma fazenda de produtos agrícolas que minimize o custo de uma operação?

1.3 Objetivo Geral

Elaborar um modelo matemático de uma parte do processo de produção de produtos orgânicos de um estudo de caso.

1.4 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Entrevistar um produtor agrícola de produtos orgânicos de média escala

- b) Identificar uma etapa dentro da cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas orgânicos que pode ser otimizada por meio de um modelo matemático de apoio à decisão;
- c) Construir modelo para apoio à tomada de decisão;
- d) Validar o modelo de apoio à decisão em um software de otimização;

1.5 Justificativa

O Brasil figura sempre entre os maiores produtores agrícolas do mundo. Segundo a Embrapa (2020), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a partir de dados obtidos da plataforma FAOSTAT, da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2020, o Brasil produziu 239 milhões de toneladas de grãos (arroz, cevada, soja, milho e trigo), se colocando em quarto lugar no mundo, atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia. Considerando a produção individual desses grãos, o Brasil é o terceiro na produção do milho, e o primeiro na produção da soja.

Em relação à produção “não convencional”, a Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica (IFOAM, 2020), aponta que a área total mundial dedicada ao plantio de alimentos orgânicos saltou de 11 milhões de hectares em 1999 para 72,3 milhões em 2019, um aumento de aproximadamente 557%.

Além disso, evidências dos impactos positivos do consumo de alimentos orgânicos aparecem em diversos estudos. Kesse-Guyot et al. (2017) indicaram uma redução de 31% no risco de obesidade entre os consumidores frequentes de alimentos orgânicos comparado àqueles não frequentes. Segundo Baudry et al. (2015), homens que consomem regularmente alimentos orgânicos estão menos propensos a apresentar doenças cardiovasculares. Outras doenças, como: diabetes tipo 2, hipertensão e colesterol alto também estão negativamente associadas ao consumo regular de alimentos orgânicos, entre ambos os sexos.

Além dos fatores produtivos expostos, diversos motivos vêm transformando a logística num processo cada vez mais importante para a agregação de valor para inúmeras organizações (BALLOU, 2007). Os países vêm profissionalizando sua produção, fazendo com que o planejamento, gerenciamento e a otimização de redes logísticas, deixe de ser uma opção de maior rentabilidade tornando-se uma necessidade (REIS; LEAL, 2015).

Segundo Ballou (2007), o bom gerenciamento de uma cadeia de suprimentos requer, entre outros fatores, a utilização de modelos de gestão, de planejamento, acordos, compartilhamento de dados e previsões bem efetuadas. Para o autor, cada atividade que constitui a cadeia de suprimento contribui para a agregação de valor quando se tem uma boa administração logística.

É nesse cenário que os modelos matemáticos de otimização se apresentam como uma ferramenta confiável de suporte à decisão. Os objetivos deste instrumento incluem construir e resolver modelos matemáticos de sistemas produtivos reais, permitindo o agente decisor explorar uma grande variedade de possíveis alternativas para seu sistema (GOLDEBARG; LUNA, 2000; ESCUDERO et al., 1999).

Diante disso, realizou-se uma breve pesquisa exploratória, com o objetivo de sondar o panorama atual de publicação de trabalhos que utilizam modelos matemáticos na agricultura. Para tanto, efetuou-se uma busca na base de dados ScienceDirect. A ferramenta de pesquisa da base possibilita a busca de publicações em diversos journals da literatura acadêmica, facilitando o processo da pesquisa. Na busca foram utilizados, em conjunto com o operador booleano “AND”, os termos (em inglês): “modelos matemáticos” e “orgânicos”, “modelagem matemática” e “orgânicos” e “pesquisa operacional” e “orgânicos”. Os termos poderiam estar em todos os campos de busca. Por meio desse levantamento de dados, não foi possível encontrar trabalhos que relacionem modelos matemáticos aplicados especificamente a alimentos orgânicos.

A ausência de pesquisas que relacionam a pesquisa operacional com a agricultura orgânica, evidencia uma possível perda para os produtores orgânicos, uma vez observados os diversos ganhos obtidos por meio da modelagem matemática, além de uma lacuna de pesquisa. Com base nisso, este trabalho ocupou-se, principalmente, da elaboração de um modelo matemático que vai ao encontro das demandas e que pudesse solucionar, ou ao menor contribuir, para a redução de custos da produção de orgânicos de uma fazenda específica, sobre a qual foi desenvolvido um estudo de caso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cadeia de Suprimento de Alimentos Agrícolas / *Agri-food Supply Chain* (AFSC/ASC)

De acordo com Mentzer et al. (2001), uma cadeia de suprimentos é um conjunto de três ou mais entidades diretamente envolvidas nos fluxos de produtos, serviços, finanças e informações, que vão de uma fonte até o um consumidor. Ainda segundo o autor, existem três graus de complexidade para as cadeias, nomeadamente: “cadeia de suprimentos direta”, “cadeia de suprimentos estendida” e “cadeia de suprimentos definitiva”, sendo que, o que as diferencia é a abrangência em termos de entidades envolvidas que são consideradas na elaboração da cadeia.

Segundo a mesma linha, Ballou (2007) aponta que a cadeia de suprimentos abrange todas as atividades relacionadas com o fluxo e transformação de mercadorias desde o estágio da matéria-prima até o usuário final, bem como os fluxos de informação associados.

Assim como as cadeias de suprimentos regulares, aquelas para alimentos agrícolas são caracterizadas como três ou mais atores e três ou mais ativos, mas, nesse caso, envolvidos nos fluxos dos produtos e informações da produção e distribuição de produtos agrícolas (BIJMAN, 2002).

Existem alguns aspectos que tornam as cadeias de suprimento de alimentos agrícolas especiais, como: controle de qualidade e segurança do alimento; tempo de prateleira limitado; e variabilidade de oferta, demanda e preço. Tais aspectos tornam as cadeias de suprimentos de alimentos agrícolas mais complexas e difíceis de serem gerenciadas em relação a outras cadeias, justificando uma abordagem diferente da tradicional (SALIN, 1998; AHUMADA, 2008).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é definido por Mentzer et al. (2001) como a coordenação estratégica e sistemática das tradicionais funções de negócios e das táticas ao longo dessas funções de negócios no âmbito de uma determinada empresa e ao longo dos negócios no dentro da cadeia de suprimentos, visando aperfeiçoar o desempenho a longo prazo das empresas de maneira individual e da cadeia de suprimentos como um todo.

Segundo Ballou (2007), o gerenciamento da cadeia de suprimentos não se resume às atividades logísticas, se estendendo às interações entre marketing,

logística e produção dentro de uma mesma empresa, ou mesmo entre diferentes empresas no fluxo de produtos. O manejo da logística de uma empresa exerce grande influência sobre o bem, resultado do processo produtivo, ao agregar valor percebido a esse *output* do processo. Desse modo, quando uma atividade não é capaz de agregar muito valor, a sua manutenção dentro da cadeia de suprimentos entra em cheque. Ainda segundo o autor, pode-se dizer que é possível agregar valor a um produto ou serviço, quando os consumidores estão dispostos a pagar por ele mais que o custo que a empresa teve de colocá-lo à disposição do cliente.

Nesse sentido, conforme a empresa cresce, maiores são suas demandas, e conseqüentemente, maior a necessidade de uma boa logística. O mapeamento, o planejamento e a tomada de decisão pouco a pouco vão se tornando mais complexos e, “à medida que isso acontece, a logística assume uma importância maior no âmbito da empresa, uma vez que os custos, especialmente de transporte, vão crescendo de proporção na estrutura total de custos.” (BALLOU, 2007, p. 35).

Em se tratando da agricultura orgânica, especificamente, é fato que o valor do produto final tende a ser mais caro, conforme os motivos listados no decorrer deste trabalho. Mesmo que esse valor se justifique, ao analisar os benefícios à saúde obtidos a partir do consumo desses produtos, principalmente se considerado o fator longo prazo, ainda assim, se existe a necessidade de elaborar um método que diminua o custo de produção; especialmente em relação ao lucro dos pequenos e médios produtores.

Isso porque, de acordo com Sousa (2022), existem diferentes tipos de produção agrícola, bem como diferentes sistemas de produção. Assim, o que diferencia uma produção de pequena, média ou larga escala, geralmente está relacionado com a intencionalidade de cada produtor. Por exemplo, pequenos produtores, usualmente, praticam a agricultura familiar, um tipo de agricultura que desconsidera o uso de maquinário e o emprego de muita tecnologia. Sousa (2022), dispõe que a agricultura se subdivide em dois grandes sistemas: a agricultura intensiva e a extensiva.

Em relação à primeira, define-se por sua característica moderna, com grande utilização de novas tecnologias, insumos artificiais, agrotóxicos, sementes geneticamente alteradas, produção em larga escala etc. Tudo isso com o fim de atingir altos lucros, principalmente por meio da exportação de toneladas de alimentos produzidos (SOUSA, 2022).

De maneira oposta, a agricultura extensiva ocupa-se de uma produção de menor escala, com um valor menor de capital investido. Se caracteriza por destinar seus produtos geralmente para consumo nacional, utilizando mão de obra menos qualificada e menor quantidade de maquinário. Entretanto, essas características não limitam esse sistema de produção à somente a agricultura familiar ou pequenas produções. É possível desenvolver uma produção lucrativa, de pequena ou média escala, a partir do tipo de produção orgânica, por exemplo (SOUSA, 2022).

Assim, torna-se possível estabelecer um sistema de produção que respeite o meio ambiente, o solo e a vida, através da rotação de culturas, da não utilização de agentes químicos prejudiciais à saúde, entre outros fatores.

2.2 Orgânicos no Brasil

Ao longo do desenvolvimento humano, diversas tecnologias foram criadas com o intuito de resolver desafios, conforme eles se apresentavam. Especialmente quanto a agricultura, destaca-se o recente, considerando o processo evolutivo humano e a grande quantidade de tempo que separa o surgimento da agricultura dos dias atuais, aumento da preocupação com o controle de pragas e doenças. Este movimento se intensificou no período da Segunda Guerra Mundial; momento histórico em que “ocorreu a produção, expansão e síntese de diversos compostos químicos, com propriedades antibióticas ou inseticidas.” (STOPPELLI; MAGALHÃES, 2005, p. 92).

Aparentemente, o interesse inicial da produção dessas substâncias químicas, se deu em prol da solução e prevenção de diversas doenças. “A descoberta que o diclorodipheniltricloroetano (DDT) era capaz de evitar a contaminação por tifo e que os organoclorados tinham um grande potencial como pesticida promovera uma dispersão destes compostos, sem nenhum controle [...]”. Diante disso, a produção e comercialização dos agrotóxicos se alastrou pelo mundo, sob a justificativa de atuação como inseticida, fungicida, herbicida, desfolhante, fumigante, rodenticida, raticida, moluscocida, nematocida e acaricida (STOPPELLI; MAGALHÃES, 2005).

Assim, pouco a pouco, o uso dessas substâncias passou a figurar como participante indispensável na produção de alimentos, especialmente nas produções de larga escala. Entretanto, os efeitos de alterar significativamente o equilíbrio da natureza, aos poucos foram aparecendo. De acordo com Souza (2005), o uso de agrotóxicos e demais substâncias químicas utilizadas no cultivo convencional, resulta

em sérios danos à saúde, tanto para os trabalhadores que se são postos em contato com esses agentes diariamente, quanto para os consumidores do produto final.

Segundo o autor, a exposição a esses agentes químicos pode alterar sistemas hormonais delicados presentes no corpo humano. Esses sistemas são de extrema importância, atuando desde o desenvolvimento sexual humano até a formação da inteligência e o funcionamento do sistema imunológico. Corroborando com o argumento apresentado por Souza acerca da fragilidade dos sistemas hormonais, existem estudos que relacionam essas substâncias a inúmeros problemas de saúde como: infertilidade e deformações genitais; cânceres desencadeados por hormônios, como o câncer de mama e de próstata; distúrbios neurológicos em crianças, como hiperatividade e déficit de atenção; e problemas de desenvolvimento e reprodução em animais silvestres.

Diante dessa realidade, a procura por alimentos mais saudáveis e menos agressivos tem aumentado cada vez mais, à medida que a população, em todas as esferas sociais, tem conseguido mais informações acerca dos riscos dos alimentos convencionais. Para tanto, diversas alternativas foram sendo desenvolvidas, a fim de combater e alterar essa realidade; a principal delas, é conhecida como agricultura orgânica, também chamada de agricultura biológica, ecológica, natural, biodinâmica, yamaguishiana, permacultura, agroflorestal etc. (PENTEADO, 2001; SOUZA, 2005).

Entretanto, segundo Souza (2005), é importante atentar para a distinção existente entre produtos orgânicos e produtos naturais. O primeiro compreende produtos em que ao longo de todo o processo produtivo foram empregadas técnicas e métodos não agressivos ao meio-ambiente. Enquanto isso, os chamados “produtos naturais” não possuem qualquer tipo de indicação acerca da forma a qual são produzidos, o que pode levar consumidores ao erro, se referindo muitas vezes a “produtos integrais”, que, por sua vez, quase sempre são oriundos de sistemas agroquímicos de produção.

Essa perspectiva parece vir ao encontro das disposições de Penteado (2009), visto que, para o autor, a agricultura orgânica está para além de somente a produção de alimentos livres de agrotóxicos, visão limitada que é comumente atribuída a esses produtos. Esse modelo de produção está comprometido com a saúde, a ética e a cidadania do ser humano, com vista a colaborar com a preservação da vida e da natureza.

Ainda tratando da agricultura orgânica de modo geral, ela é definida como: “um sistema de produção que promove a saúde dos solos, ecossistemas e pessoas e que tem como base os processos ecológicos, a biodiversidade e os ciclos adaptados às condições locais em oposição ao uso de insumos com efeitos adversos.” (IFOAM, 2008).

De modo específico, produtos alimentícios orgânicos certificados são produzidos levando em consideração o meio-ambiente e o bem-estar animal, esses produtos são controlados e certificados por organizações independentes de certificação e, geralmente, são rotulados com o selo que ajuda os consumidores na identificação nos supermercados. (THØGERSEN, 2010).

Para a legislação brasileira, produto orgânico é aquele obtido em um sistema orgânico de produção agropecuária ou oriundo de processo extrativista sustentável e não prejudicial ao ecossistema local. Sistemas orgânicos de produção, por sua vez, visam, dentre outros, a oferta de produtos saudáveis isentos de contaminantes que possam ser evitados em função da não utilização de práticas e insumos que possam pôr em risco o meio ambiente e a saúde do produtor, do trabalhador ou do consumidor. De acordo com a Lei 10.831 de 2003:

§ 2º O conceito de sistema orgânico de produção agropecuária e industrial abrange os denominados: ecológico, biodinâmico, natural, regenerativo, biológico, agroecológicos, permacultura e outros que atendam os princípios estabelecidos por esta Lei.

Art. 2º Considera-se produto da agricultura orgânica ou produto orgânico, seja ele **in natura** ou processado, aquele obtido em sistema orgânico de produção agropecuário ou oriundo de processo extrativista sustentável e não prejudicial ao ecossistema local. (BRASIL, 2003).

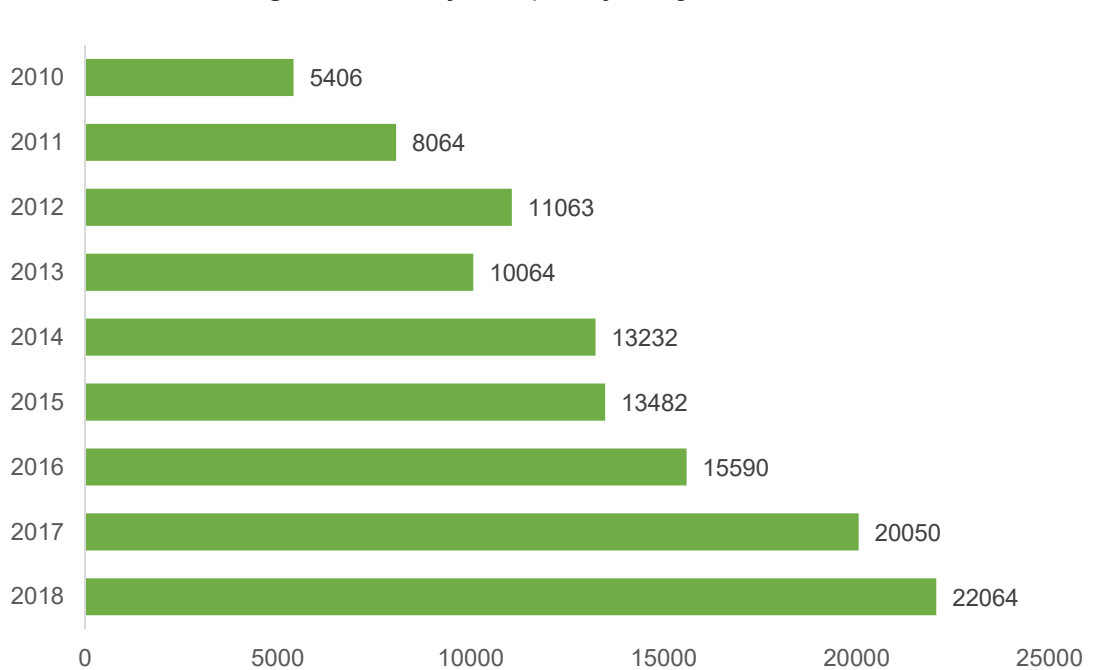
Portanto, a agricultura orgânica, de maneira oposta à agricultura convencional, se apresenta como um verdadeiro movimento que defende não somente o direito à uma alimentação saudável, como também os direitos dos animais, dos trabalhadores e dos produtores rurais, e principalmente, os “direitos” do meio ambiente e da natureza, que devem ser respeitados em sua integralidade.

Isso porque, segundo Souza (2005, p. 17), nesse modelo produtivo, foram estabelecidas normas técnicas rigorosas, que visam preservar e garantir integralmente a qualidade do alimento produzido. Não se restringindo apenas à produção de fato, o modelo de produção orgânico adota uma abordagem holística, considerando também as relações sociais e trabalhistas envolvidas no processo.

Para tanto, todas as fases da produção dos orgânicos são regulamentadas, a fim de garantir a qualidade do produto final. Tanto a fase de campo, quanto de processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, comprometem-se com o cumprimento de rígidas normas definidas e regulamentadas de acordo com a Lei 10.831.

Ademais, cabe destacar que a produção de alimentos orgânicos acompanha o interesse em um estilo de vida mais saudável, cada vez mais frequente no seio da sociedade brasileira. Conforme se pode observar na Figura 1:

Figura 1 – Evolução da produção orgânica no Brasil



Fonte: adaptado de Brandão (2021).

Em síntese, de acordo com Brandão (2021), nos últimos dez anos a quantidade de produtos orgânicos quadruplicou, mas apesar dos avanços, diversos embates ainda são travados. Isso porque, os produtores afirmam a necessidade de desenvolvimento de mais pesquisas e maior suporte para a produção dos alimentos orgânicos, tendo em vista o significativo impacto positivo para toda a sociedade.

Assim, parece estar nítido que diversos foram os desafios vencidos, bem como inúmeros são aqueles que ainda se põe no âmbito da produção agrícola orgânica no Brasil.

2.3 Modelos de apoio à decisão aplicados à AFSC

Modelos matemáticos buscam representar por meio de expressões matemáticas o mundo real com diferentes níveis de fidelidade. Um modelo matemático de um problema de negócio é o sistema de equações e de expressões matemáticas relativas que descrevem sua causa e suas variáveis de decisão (HILLIER; LIEBERMAN, 2013; HILLIER; HILLIER, 2014).

Após a elaboração do modelo, se inicia a fase de programação matemática, que, diferente do que o termo “programação” pode sugerir, não está relacionada à programação em computadores. Ela se ocupa do planejamento das atividades relacionadas à resolução do modelo matemático visando atingir uma solução ótima (Hillier e Lieberman, 2013).

Como listado por Belfiore (2013), existem diversos tipos de programação matemática, como por exemplo:

- a) Programação linear, onde a função objetivo (FO) e as restrições são representadas por funções lineares, ou seja, envolve apenas constantes e variáveis de primeiro grau;
- b) programação não-linear, aquela em que pelo menos a FO ou uma das restrições é uma equação não-linear das variáveis de decisão;
- c) programação binária, onde todas as variáveis de decisão são binárias, ou seja, só podem assumir valores 1 ou 0;
- d) programação inteira, onde as variáveis de decisão são discretas e só podem assumir valores inteiros;

Além das programações matemáticas listadas acima, combinações entre elas também podem ser observadas, por exemplo: programação linear inteira mista, programação binária mista etc.

Quando aplicados a Cadeias de Suprimento de Alimentos Agrícolas (AFSC), os modelos de apoio à decisão podem ser categorizados a partir de diferentes aspectos. Segundo a capacidade de armazenamento, são divididos em perecíveis e não-perecíveis. Segundo o nível de planejamento, em estratégico, tático e operacional. Por último, segundo a incerteza na modelagem, em determinístico e estocástico, aqui existe ainda um segundo nível de segmentação, onde os modelos determinísticos são separados em programação linear e programação dinâmica, e os

estocásticos são divididos em programação estocástica e programação estocástica dinâmica (AHUMADA, 2009).

A maior parte dos estudos já publicados que incluem o desenvolvimento de um modelo matemático de apoio à decisão para o planejamento da cadeia de suprimento de um alimento agrícola trata daqueles alimentos chamados convencionais; não foi encontrado nenhum trabalho que versasse especificamente sob alimentos agrícolas orgânicos.

Ahumada e Villalobos (2009) apresentam uma revisão da literatura de modelos matemáticos de planejamento aplicados a produtos agrícolas. Os autores pontuam que produtos agrícolas perecíveis, ou frescos, possuem uma complexidade logística adicional que deve ser considerada no planejamento. Por exemplo, o *shelf life*, ou tempo de vida, curto, medido em apenas dias. Os modelos apresentados na revisão da literatura se distribuem nos três níveis de planejamento (estratégico, tático e operacional) apresentados por Simchi-Levi.

No nível estratégico os modelos, versam sobre decisões ligadas: ao desenho da cadeia de suprimentos; ao planejamento financeiro; à capacidade, e; à seleção de tecnologias. Quanto à função objetivo, nos modelos estratégicos o foco é na maximização do lucro ou minimização de custos. Também, não é incomum que modelos estratégicos agreguem aspectos do planejamento tático.

Modelos de planejamento tático são os mais comuns em aplicações ligadas à produtos agrícolas frescos. As decisões desses modelos versam sobre: o cronograma de safra/plantio; o planejamento de colheita; a seleção de cultura, e; dimensionamento da mão-de-obra.

Por fim, os modelos de planejamento operacional, que versam sobre questões de curto prazo, como: colheita; cronograma de atividades de produção; armazenamento intermediário, e; planejamento de embalagem. Os autores analisaram também artigos voltados para alimentos não-perecíveis e, ao comparar os artigos dos dois grupos, chegaram à conclusão de que, quando se lida com produtos frescos, a tomada de decisão a nível operacional é mais crítica.

Baseando-se no número de artigos publicados, os autores concluíram que o foco de artigos que trazem modelos de planejamento ainda são os alimentos não-perecíveis, mas que existe uma mudança em curso.

Borodin et al. (2016) apresentam em seu artigo os últimos avanços e desenvolvimentos quanto à aplicação da pesquisa operacional ao lidar com incertezas

nos problemas de gerenciamento da cadeia de suprimento agrícolas. Baseados em Beyer e Sendhoff (2007), os autores abordam três formas diferentes de se expressar a incerteza.

A primeira é o modelo determinístico, onde as incertezas são definidas a partir de parâmetros que podem ser alterados. A segunda é o modelo probabilístico, onde as incertezas são descritas por meio de distribuições probabilísticas, apresentando as chances de um evento ocorrer. Por fim, o modelo possibilístico, onde as incertezas são representadas por elementos difusos (*fuzzy elements*) descrevendo a possibilidade ou grau de adesão de um determinado evento ser plausível ou crível.

Os autores versam ainda sobre três técnicas da pesquisa operacional utilizadas como apoio aos problemas de tomada de decisão originados no setor da agricultura. Nomeadamente, as técnicas são: a programação estocástica, a programação robusta e a programação baseada em simulação.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipologia e descrição geral dos métodos de pesquisa

Esta pesquisa é classificada conforme o proposto por Silva e Menezes (2005) como aplicada, exploratória e qualitativa-quantitativa. Do ponto de vista de sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, na qual, são gerados conhecimentos com aplicação prática para solucionar problemas. Do ponto de vista de seus objetivos é uma pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema a fim de torná-lo explícito. Com relação à forma, a abordagem é qualitativa e quantitativa, em que, haverá interpretação da leitura e atribuição de significados e modelagem matemática.

Ainda segundo o proposto por Silva e Menezes (2005), quanto aos procedimentos técnicos, se trata de uma pesquisa documental, por ter sido elaborada “a partir de materiais que não receberam tratamento analítico”, mas também se trata de um estudo de caso, por se aprofundar em poucos objetivos, possibilitando seu conhecimento detalhado. Quanto aos instrumentos de coleta de dados, foram utilizadas entrevistas semiestruturadas, que contaram apenas com roteiros de linhas gerais a serem tratadas ao longo das entrevistas, e a observação direta, a partir das visitas realizadas ao produtor. Por fim, quanto ao modo o qual serão analisados os dados, a pesquisa usará da Modelagem Matemática, transformando uma realidade em equações matemáticas visando alcançar um resultado ótimo ou otimizado.

Inicialmente, elaborou-se uma breve pesquisa a respeito das publicações sobre a temática. Para tanto, utilizou-se a ferramenta de busca da base de periódicos ScienceDirect. Durante a busca foi utilizada a opção de pesquisa avançada, e o operador booleano “AND” foi utilizado sempre em conjunto com outros dois termos. Os termos utilizados são apresentados aqui em português, mas no momento da busca foram utilizadas as suas traduções em inglês.

As duplas de termos buscadas na base foram: “modelos matemáticos” e “orgânicos”, “modelagem matemática” e “orgânicos” e “pesquisa operacional” e “orgânicos”. Apesar da pesquisa na base ter utilizado mais de uma combinação de termos, dentre os resultados, não havia nenhuma pesquisa que estivesse no mesmo sentido do presente trabalho. Especialmente pelo fato de que nenhuma delas tratava

da agricultura orgânica ou de um modelo matemático que objetivasse a melhoria, especificamente, desse tipo de produção.

3.2 Caracterização da organização objeto do estudo

A pesquisa foca no desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão para o planejamento de um processo presente no cultivo de orgânicos. O estudo de caso será realizado em conjunto com um produtor de média escala desse tipo de alimento do Distrito Federal.

A propriedade está localizada no Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF), a 70 km de Brasília. Conta com 130 hectares de produção e uma variedade de 35 tipos de hortaliças e legumes, além da produção de laticínios orgânicos. Suas atividades tiveram início na década de 80.

3.3 População e amostra ou Participantes da pesquisa

A presente pesquisa se desenvolveu a partir da participação de um produtor rural de alimentos agrícolas orgânicos do Distrito Federal, através de um estudo de caso. O produtor entrevistado cedeu as informações a respeito de sua propriedade que constam nesse trabalho. Ademais, foram realizadas visitas à fazenda, para que fosse possível a visualização da realidade concreta do objeto de estudo em questão, bem como a elaboração do modelo matemático que objetivou intervir e contribuir com o cotidiano dessa propriedade.

3.4 Caracterização e descrição dos instrumentos de pesquisa

Quanto aos procedimentos técnicos a serem utilizados serão aplicados os seguintes:

- a) **Revisão narrativa da literatura** nas bibliografias de referência da área, para buscar um entendimento maior da área da pesquisa e levantar os algoritmos já utilizados no planejamento da cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas orgânicos;

- b) **Entrevista não-estruturada** com produtor de alimentos agrícolas orgânicos, visando entender melhor o setor, as suas peculiaridades, os produtos relevantes para o Brasil e, por fim, possíveis lacunas de pesquisa;
- c) **Estudo de caso**, para testar conceitos e hipóteses levantadas nas revisões de literatura, utilizando modelos matemáticos de apoio a decisão para o planejamento de cadeias de suprimento de alimentos agrícolas orgânicos.

3.5 Procedimentos de coleta e de análise de dados

Para a coleta inicial de dados foi utilizado o instrumento de entrevista não-estruturada com o produtor de alimentos agrícolas orgânicos, realizada presencialmente, com a participação do autor desta pesquisa, sob supervisão da professora orientadora.

Em seguida, outras duas entrevistas não-estruturadas foram realizadas presencialmente com a participação do autor e do funcionário responsável pelas máquinas dentro da propriedade. A primeira visou um entendimento geral sobre o funcionamento do processo, a segunda visou a coleta de informações para a inserção no modelo.

A compilação dos dados coletados e a elaboração do modelo matemático utilizam os softwares: Microsoft Excel e AIMMS Developer em sua versão 4.84.3.4 64-bit, em conjunto com o solver IBM CPLEX 20.1, sendo que, o último, possui versão acadêmica completa e gratuita.

4 ENTREVISTA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

4.1 Entrevista

Em novembro de 2021, realizou-se uma visita à propriedade rural alvo do estudo de caso. Esse momento tinha dois objetivos iniciais, primeiro, a apresentação da propriedade para os pesquisadores; segundo, apresentar a motivação da pesquisa ao proprietário da fazenda. Ao longo da visita, o produtor rural tratou de diversos assuntos ligados ao sistema de produção agrícola e vários desses pontos foram discutidos buscando identificar um possível processo que pudesse ser otimizado por meio da modelagem matemática e da pesquisa operacional.

O produtor relatou a dificuldade em manter os preços competitivos frente aos produtos agrícolas convencionais, pontuando uma margem de contribuição já pequena. Seguindo na mesma linha, o produtor afirmou que o custo com combustível, especificamente o óleo Diesel utilizado pelos tratores, representava o maior componente na composição do custo dos produtos. A partir de então iniciou-se um processo que possibilitasse um melhor entendimento de todo o processo que a rotação, o planejamento, e a tomada de decisões que envolvesse a utilização dos tratores da propriedade.

Além dessa problemática, o agricultor levantou outros problemas que poderiam ser solucionados através da Programação Matemática, porém, o intuito da pesquisa era propor um modelo matemático que pudesse ser utilizado em outras fazendas, que fosse factível como uma proposta de trabalho de conclusão de curso, e que tivesse relevância financeira para o agricultor. Dessa forma, foi selecionado o problema que é descrito a seguir.

4.2 Problema

O problema apresentado neste trabalho tem como base uma configuração onde a fazenda produtora de alimentos agrícolas conta com um número limitado de tratores, maquinários e horas-homem. Esses recursos são necessários para auxiliar os trabalhadores na execução das tarefas demandadas, desde antes do plantio até após a colheita das diversas culturas e em diferentes pontos dentro da propriedade. A

propriedade conta com um elevado gasto com maquinário, sendo este o principal componente que encarece o produto final.

As atividades são distribuídas para cada trator em rotas que são planejadas semanalmente. Entretanto, essa divisão ocorre de maneira aleatória, sem considerar o melhor caminho a ser percorrido, nem o custo de operar cada trator. Diante dessa realidade, a utilização de um modelo matemático poderia contribuir grandemente na eliminação do fator subjetividade da questão, possibilitando uma melhor tomada de decisão e divisão de tarefas pautada em maior efetividade e diminuição dos custos no roteamento dos tratores.

Atualmente a fazenda não faz o uso de nenhum mecanismo para auxiliar o planejamento.

É fácil inferir que quanto mais otimizado for o uso das máquinas, diminuindo distâncias percorridas desnecessariamente, menor será o custo operacional com elas, portanto, este trabalho e o modelo matemático que será apresentado a seguir visam responder as seguintes perguntas:

- a) Qual rota minimiza o deslocamento dos tratores dentro da propriedade no atendimento das atividades demandadas nos diferentes lotes?
- b) Quando, no horizonte de uma semana, uma determinada atividade deve ser desenvolvida em um dado endereço?
- c) Qual trator deve ser alocado para a realização de cada tarefa?

5 MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelo matemático proposto tem base no chamado *Travelling Salesman Problem* (TSP) ou Problema do Caixeiro Viajante, descrito e solucionado por Danzig, Fulkerson e Johnson (1954). No problema descrito por esses autores, a rota a ser seguida por um suposto caixeiro viajante deve passar por todas as cidades, minimizando a distância percorrida total. Para solucionar o problema da fazenda produtora de alimentos orgânicos, as cidades foram substituídas pelos lotes, nomeado pela própria empresa para os conjuntos de oito canteiros onde são plantadas as diversas culturas.

Além disso, outro ponto que diferencia o modelo aqui apresentado e o apresentado no artigo que trata do TSP, é o fato de existir mais de um veículo disponível para atender às demandas e, também, o fato de não ser necessário passar por todos os nós, diferente do problema do caixeiro viajante, apenas naqueles em que existe demanda.

Por fim, por conter variáveis binárias, o modelo é do tipo inteiro misto, também conhecido por suas siglas em inglês: MIP (*mixed-integer programming*) ou MILP (*mixed-integer linear programming*).

O modelo matemático foi construído considerando as seguintes premissas:

- a) Ao início de cada rota em cada período, os tratores que forem acionados partem do mesmo ponto, o depósito das máquinas. Posteriormente, no mesmo período, o trator deve retornar para o ponto de origem.
- b) Mesmo que exista a demanda por mais de uma atividade, um mesmo lote só é atendido uma vez por período.
- c) A soma do tempo necessário para finalizar as atividades desenvolvidas com a ajuda de um trator não pode ultrapassar a duração máxima de um turno.

Nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 serão apresentados os Índices, Variáveis e Parâmetros do modelo, respectivamente.

Tabela 5.1 – Índices utilizados no modelo matemático

<i>Índice</i>	<i>Descrição</i>
t	Tratores
m	Máquinas
a	Atividades
p	Período
i, j	Nós
o	Origem
l	Lotes

Fonte: autoria própria

Sendo:

- **Tratores:** Conjunto dos tratores disponíveis na fazenda.
- **Máquinas:** Conjunto das máquinas disponíveis na fazenda.
- **Atividades:** Conjunto dos diversos tipos de atividades.
- **Período:** Conjunto dos períodos presentes no planejamento.
- **Nós:** Conjunto com todos os nós pelos quais os tratores podem passar.
- **Origem:** Subconjunto de “Nós” que contém apenas o depósito das máquinas como elemento.
- **Lotes:** Subconjunto de “Nós” que contém todos os nós, exceto o depósito.

Tabela 5.2 – Variáveis utilizadas no modelo matemático

<i>Variáveis</i>	<i>Descrição</i>
Inclui_{ptij}	Variável binária que indica se no período p , um trator t percorreu o trecho do nó i ao j
Serviu_{ptla}	Variável binária que indica se no período p , um trator t atendeu à demanda no lote l da atividade a
LigaTrator_{pt}	Variável binária que indica se no período p , o trator t será utilizado
Conectado_{ptm}	Variável binária que indica se no período p , o trator t está conectado à máquina m

Fonte: autoria própria

De acordo com a Tabela 5.2, as variáveis utilizadas no modelo são as seguintes:

Inclui_{ptij}: Variável binária que indica se no período **p**, um trator **t** percorreu o trecho do nó **i** ao **j**.

0 – No período **p**, o trator **t** não percorreu o trecho de **i** a **j**

1 – No período **p**, o trator **t** percorreu o trecho de **i** a **j**

Serviu_{ptla}: Variável binária que indica se no período **p**, um trator **t** atendeu à demanda no lote **l** da atividade **a**.

0 – No período **p**, o trator **t** não atendeu no lote **l** à demanda da atividade **a**.

1 – No período **p**, o trator **t** atendeu no lote **l** à demanda da atividade **a**.

LigaTrator_{pt}: Variável binária que indica se no período **p**, o trator **t** será utilizado.

0 – No período **p**, o trator **t** não será utilizado.

1 – No período **p**, o trator **t** será utilizado.

Conectado_{ptm}: Variável binária que indica se no período **p**, o trator **t** está conectado à máquina **m**.

0 – No período **p**, o trator **t** não está conectado à máquina **m**.

1 – No período **p**, o trator **t** está conectado à máquina **m**.

Tabela 5.3 –Parâmetros utilizados no modelo matemático

Parâmetros	Descrição
Demanda_{ia}	Parâmetro binário que indica se em um lote i existe demanda para uma atividade a
AtividadeMaq_{am}	Parâmetro binário que indica se, para atender à demanda de uma atividade a , a máquina m pode ser utilizada
Duracao_a	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo

que cada tipo de atividade **a** leva para ser completada.

Distancia_{ij}	Parâmetro numérico não negativo que indica a distância, em metros, entre dois nós i e j
DistanciaTempo_{ij}	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo necessário para percorrer a distância entre dois nós i e j
turno	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, a duração do turno de trabalho dos tratoristas
big_M	Parâmetro numérico não negativo utilizado nas restrições quando há a necessidade de utilizar um valor grande
CustoLigar_t	Parâmetro numérico não negativo que indica o custo para ligar cada um dos tratores

Fonte: autoria própria

De acordo com a Tabela 5.3:

Demanda_{ia}: Parâmetro binário que indica se em um lote **i** existe demanda para uma atividade **a**

0 – Não existe demanda no lote **i** para a tarefa **t**

1 – Existe demanda no lote **i** para a tarefa **t**

AtividadeMaq_{am}: Parâmetro binário que indica se, para atender à demanda de uma atividade **a**, a máquina **m** pode ser utilizada.

0 – Para a atividade **a**, a máquina **m** não pode ser utilizada

1 – Para a atividade **a**, a máquina **m** pode ser utilizada

Duracao_a: Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo que cada tipo de atividade **a** leva para ser completada.

Distancia_{ij}: Parâmetro numérico não negativo que indica a distância, em metros, entre dois nós **i** e **j**.

DistanciaTempo_{ij}: Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo necessário para percorrer a distância entre dois nós **i** e **j**. Calculado utilizando a velocidade média de deslocamento de um trator.

turno: Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, a duração do turno de trabalho dos tratoristas.

big_M: Parâmetro numérico não negativo utilizado nas restrições quando há a necessidade de utilizar um valor grande.

CustoLigar_t: Parâmetro numérico não negativo que indica o custo para ligar cada um dos tratores. Os valores deste parâmetro são utilizados na FO em conjunto com as restrições que determinam se um trator será usado ou não. A introdução desse custo parte do pressuposto de que é preferível utilizar os tratores de potência menor sempre que possível.

A **Função Objetivo** do modelo minimiza a soma total das distâncias percorridas pelos tratores em cada período somada à soma dos gastos ao ligar os tratores nos diferentes períodos.

$$\min \left(\sum_p \sum_t \sum_i \sum_j (Inclui_{ptij} * Distancia_{ij}) + \sum_p \sum_t (LigaTrator_{pt} * CustoLigar_t) \right)$$

As restrições do modelo são as seguintes:

RestEquilibrio_{pti}: Certifica que, no período **p**, toda vez que um trator **t** entra em um nó **i**, também irá sair dele. A soma de todos os trechos que entram em um nó é igual à soma de todos os trechos que saem do nó, para todo período, trator e nó.

$$\sum_j Includi_{ptji} = \sum_j Includi_{ptij} \forall p, t, i \quad (1)$$

RestIncludiDemanda_l: Certifica que, para todos os lotes **l**, a soma dos trechos que entram no lote, considerando todos os períodos **p**, todos os tratores **t** e todas os nós de início **i**, seja igual à soma da demanda de todas as atividades daquele lote.

$$\sum_p \sum_t \sum_i Includi_{ptil} = \sum_a Demanda_{la} \forall l \quad (2)$$

RestServiuDemanda_{la}: Certifica que, para um dado lote **l** e atividade **a**, a soma de todas as vezes que o lote foi servido, considerando todos os períodos **p** e todos os tratores **t**, seja igual à demanda do lote por aquela atividade. Ou seja, se a demanda é 1, em algum período, algum trator irá atender àquela demanda.

$$\sum_p \sum_t Serviu_{ptla} = Demanda_{la} \forall l, a \quad (3)$$

RestNoFinal_{tp}: Certifica que, caso um trator **t** seja ligado em um período **p**, algum trecho que tenha como ponto de destino a origem **o**, que representa o Depósito, seja incluído para aquele trator no período em questão. A partir desta restrição, a restrição de equilíbrio se encarrega de garantir que exista também um trecho que saia do Depósito

$$\sum_l \sum_o Includi_{ptlo} = LigaTrator_{pt} \forall p, t \quad (4)$$

RestTurno_{pt}: Certifica que, a cada período **p**, a soma do tempo de todas as tarefas realizadas por um trator **t** adicionada à soma do tempo de deslocamento entre os lotes das atividades realizadas seja menor ou igual a duração do turno.

$$\sum_l \sum_a (Serviu_{ptla} * Duração_a) + \sum_i \sum_j (Inclui_{ptij} * DistanciaTempo_{ij}) \leq turno \forall p, t \quad (5)$$

RestLink_{mltp}: Essa é a restrição que conecta as variáveis “Inclui” e “Serviu”.

$$\sum_i Inclui_{ptil} \geq Serviu_{ptla} \forall p, t, l, a \quad (6)$$

RestLigaTrator_{pt}: Esta é a restrição responsável por manipular a variável LigaTrator. Caso, no período **p**, o trator **t** tenha servido a alguma demanda, o valor da variável LigaTrator deverá ser 1, ou então, a variável só terá valor 1 se for necessário utilizar aquele trator.

$$\sum_l \sum_a Serviu_{ptla} \leq big_M * LigaTrator_{pt} \forall p, t \quad (7)$$

RestMaqPorLote_{lp}: Certifica que, no período **p**, o lote **l** seja servido por apenas um trator **t**. Portanto, fica implícito, a partir dessa restrição, que não haverá mais de uma atividade **a** sendo atendida em um mesmo período **p** num lote **l**.

$$\sum_t \sum_a Serviu_{ptla} \leq 1 \forall l, p \quad (8)$$

RestMaq_{pm}: Certifica que, no período **p**, a máquina **m** esteja conectada a apenas um trator **t**.

$$\sum_t Conectado_{ptm} \leq 1 \forall p, m \quad (9)$$

RestTrator_{pt}: Certifica que, no período **p**, o trator **t** esteja conectada a apenas uma máquina **m**.

$$\sum_m \text{Conectado}_{ptm} \leq 1 \quad \forall p, t \quad (10)$$

RestMaqConectada_{ptm}: Certifica que, no período p , para que o trator t atenda à demanda da atividade a em um lote l , esse mesmo trator esteja conectado à máquina m necessária para o desenvolvimento da atividade. Caso o trator não esteja conectado à máquina, a demanda não será atendida.

$$\sum_l \sum_a (\text{Servi}_{ptla} * \text{AtividadeMaq}_{am}) \leq \text{big}_M * \text{Conectado}_{ptm} \quad \forall p, t, m \quad (11)$$

Existe ainda uma restrição especial que só é invocada no caso de existir um *subtour*, ou seja, um subconjunto dos lotes que pertencem, no período p , à rota de um trator t e que não estão conectados à origem e ao restante da rota.

RestSEC_{pt}: Certifica que, no período p , para a rota realizada pelo trator t , caso haja um *subtour*, ele possua um trecho com origem em um nó fora do *subtour* e possua um trecho com destino à um nó também fora do *subtour*.

$$\sum_i \sum_j (\text{Inclui}_{ptij} + \text{Inclui}_{ptji}) = 2 \quad \forall p, t, m \quad (12)$$

sendo que $i \subset \text{subtour}$ e $j \subset \text{fora do subtour}$

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1 Estudo de Caso

Quando falamos de volume de produção, a propriedade objeto do estudo de caso se caracteriza como uma propriedade de médio porte, porém, quando utilizada a medida dos “módulos fiscais” estabelecidos pelo INCRA, ela se caracteriza como uma grande propriedade. O “módulo fiscal” no Distrito Federal equivale a 5 hectares ou 50 mil metros quadrados. Neste caso, a área da fazenda totaliza 26 módulos fiscais, acima dos 15 hectares necessários para que uma propriedade seja considerada grande.

A fazenda produz mais de 30 variedades de produtos agrícolas, dentre hortaliças, legumes e verduras. Para que seja possível ofertar esses diversos produtos ao longo de todo o ano, as culturas são encontradas em diferentes estágios de crescimento espalhadas pela propriedade. A programação do plantio das culturas, bem como a sequência de culturas que é plantada uma após a outra, seguem uma regra já pré-estabelecida da fazenda. Porém, quando se fala em um nível micro, as atividades que são desenvolvidas semanalmente nos lotes não seguem uma programação estabelecida.

A propriedade trabalha atualmente com quatro tratores, cada um com um custo de operação, e precisa distribuir as atividades e criar rotas de maneira mais eficiente para seus tratores, uma vez que, como relatado ao longo das entrevistas, o gasto com as máquinas, principalmente com o combustível, é o maior componente do custo dos vegetais e hortaliças produzidos na fazenda.

As tarefas que devem ser realizadas ao longo de uma semana em toda a fazenda são sempre planejadas na semana anterior, porém, a divisão de atividades para cada trator e as rotas que serão seguidas por eles são feitas de modo arbitrário. Dessa forma, verifica-se a necessidade de um modelo matemático que diminua o fator de subjetividade na divisão de atividades e no roteamento dos tratores.

6.2 Análise e Descrição

O primeiro conjunto de dados em que o modelo foi testado se trata de um conjunto reduzido, utilizado apenas com a finalidade de validar o modelo e garantir

que ele cumpra o problema que se propõe a resolver. Esse conjunto de dados contou com oito lotes e sete atividades diferentes. Foram necessários, em média, 7,84 segundos para se chegar à solução ótima.

O conjunto de dados definitivo conta com mais de mil lotes e 14 atividades. Utilizando esse conjunto de dados, mesmo depois de 30 minutos de processamento, não foi possível obter a solução ótima. Os tempos apresentados anteriormente foram obtidos a partir de diversos testes utilizando o computador pessoal do autor deste trabalho, que está equipado com um processador Intel i7-9750H e 32 GB de memória RAM.

O fato do modelo apresentado ser de programação mista inteira, com diversas variáveis binárias, enquadra o modelo na categoria de problemas computacionais chamada de “NP-difícil”, fazendo com o tempo de processamento computacional aumente exponencialmente à medida que aumentam as variáveis.

Dessa forma, com a capacidade computacional disponível para esse trabalho, não foi possível rodar o modelo para o planejamento semanal, com mais de mil lotes e 14 atividades. Um dos caminhos que pode ser tomado é o de se reduzir o problema para apenas um período em vez de cinco períodos, utilizando o modelo para o planejamento diário, com um funcionário e com o roteamento dos tratores e máquinas.

Para a solução do modelo completo em tempo hábil, pode ser adotada uma lacuna aceitável em relação a solução ótima, oferecendo ao usuário do modelo uma solução otimizada com níveis como 95% da solução ótima, aproximação essa que pode representar uma economia significativa para o usuário. Também pode ser verificada a utilização de métodos de decomposição, como o método de Benders, primeiro descrito em Benders (1962), o relaxamento lagrangeano, como descrito em Hooker (2009) e/ou heurísticas.

Esse trabalho vai de encontro aos trabalhos sobre modelos matemáticos aplicados a cadeia agrícola de alimento que não apresentam a aplicação do para casos reais, e sim, o modelo validado. Na revisão de Ahumada (2012) os artigos são divididos em dois grupos, os que tratam de alimentos não-perecíveis e os que tratam de alimentos perecíveis. Desses 20% dos 20 artigos revisados não apresentam aplicação real, número que aumenta para 85% se considerarmos aqueles que foram aplicados somente a situações imaginárias e não a situações reais.

Por fim, é importante frisar que não existe nenhuma restrição no modelo apresentado que o impeça de ser utilizado na tomada de decisão na produção de

alimentos agrícolas convencionais, servindo como ferramenta de auxílio também para esses produtores. Como discutido anteriormente, o modelo se propõe a servir como uma ferramenta para auxiliar produtores agrícolas orgânicos a diminuir seus custos operacionais, visando a popularização dos produtos agrícolas orgânicos.

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A agricultura tem um papel central na economia brasileira, é o que reforçam os números do CEPEA (2021), apresentados anteriormente. É importante citar que a maior parte dessa produção se dá com o uso de defensivos agrícolas e fertilizantes artificiais, porém, nos últimos anos, o acesso facilitado à informação contribuiu para a difusão dos benefícios no consumo de alimentos orgânicos frente aos riscos à saúde do consumo dos seus equivalentes produzidos a partir da agricultura convencional.

A busca por alimentos produzidos sem a presença de produtos químicos aumentou exponencialmente no Brasil, mas, ainda assim, representa uma parcela pequena do consumo, uma vez que o preço na gôndola ainda é mais alto, afastando vários consumidores.

Visando quebrar o ciclo que prende os produtos desse tipo de alimento em um nível baixo de produção, é necessário que seus custos sejam reduzidos, com vistas a oferecer preços mais competitivos, aumentando o faturamento dos produtores e, conseqüentemente, o reinvestimento na sua propriedade.

Para que fosse possível atingir os objetivos descritos, foi necessário realizar um levantamento buscando entender a situação atual do uso da pesquisa operacional aplicada à produção agrícola. Em seguida, foram realizadas visitas à uma propriedade rural produtora de alimentos agrícolas orgânicos. Após conversas com o produtor rural e funcionários da propriedade, foi possível mapear processos que poderiam ser otimizados a partir do uso de modelos matemáticos de apoio à decisão.

Com isso, o processo de roteamento dos tratores se mostrou especialmente crítico, dado o seu impacto no preço final do produto. Sendo esse o processo foco do modelo aqui apresentado. O modelo atende ao seu objetivo central e, com as ressalvas descritas na seção anterior, foi capaz de atingir seu objetivo.

Como recomendação de melhorias no modelo são sugeridas a adição da priorização das atividades demandadas, que parte do pressuposto de que exista uma ordem a qual as atividades devem ser executadas, como exemplo, plantar antes de colher. Também, a inclusão da chamada “janela de tempo”, permitindo que mais de uma atividade possa ser realizada no mesmo dia em um lote, permitindo, também, estabelecer horários limites os quais as atividades devem ser desenvolvidas.

Concluindo, o modelo aqui apresentado se propõe a ser um modelo inicial e que, futuramente, possa incluir e representar também peculiaridades do local onde for

aplicado, porém, de maneira geral, já se mostra capaz de resolver o problema de roteamento para um número baixo de atividades demandadas, cumprindo o seu papel e auxiliando produtores a minimizarem seus gastos com tratores.

REFERÊNCIAS

- AHUMADA, O.; VILLALOBOS, R. Application of planning models in the agri-food supply chain: A Review. **European Journal of Operational Research** 196 (1), 1–20, 2009.
- ALLEN, S. J.; SCHUSTER, E. W. Controlling the Risk for an Agricultural Harvest. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 6, n. 3, p. 225-236, verão 2004.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BAUDRY, J.; MÉJEAN, C.; PÉNEAU, S.; GALAN, P.; HERCBERG, S.; LAIRON, D.; KESSE-GUYOT, E. Health and dietary traits of organic food consumers: results from the NutriNet-Santé study. **British Journal of Nutrition**, v. 114, p. 2064-2073, 2015.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional: Para Cursos de Engenharia**. 1. ed. GEN LTC, 2021.
- BENDERS, J. F. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. **Numerische Mathematik**, v. 4, p. 238–252, dezembro 1962.
- BEYER, H. G.; SENDHOFF, B. Robust optimization: A comprehensive survey. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 196, n. 33 e 34, p. 3190–3218, 2007.
- BIJMAN, W. J. J. Essays on agricultural co-operatives: governance structure in fruit and vegetable chains. Proefschrift Rotterdam, 2002. [http://www.lei.wageningen-ur.nl/publicaties/PDF/2002/PS_xxx/PS_02_02.pdf]
- BORODIN, V.; BOURTEMBOURG, J.; HNAIEN, F.; LABADIE, N. Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 256, n. 2, p. 348-359, 2016.
- BRANDÃO, F. **Agricultura orgânica avança, mas produtores cobram recursos e menos burocracia - Notícias**. Portal da Câmara dos Deputados. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/808106-agricultura-organica-avanca-mas-produtores-cobram-recursos-e-menos-burocracia/>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. **Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 5, p. 1-12, 8 jan. 2002.
- BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, 2003. **Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras**

providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/10.831.htm. Acesso em: 22 ago. 2022.

CEPEA. **PIB DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 21 ago. 2021.

DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

ESCUADERO, L.F.; QUINTANA, F. J.; SALMERÓN, J. CORO. A modeling and an algorithmic framework for oil supply, transformation and distribution optimization under uncertainty. **European Journal of Operational Research** 114, 638-656, 1999.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Programação linear e otimização combinatória: modelos e algoritmos**. 2.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HEREDIA, B.; PALMEIRA, M.; LEITE, S. P. Sociedade e Economia do "Agronegócio" no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, [S. l.], 2010. v. 25, n. 74, p. 159-176. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/r5ZkZNPbHDqKckcBxrDSxrS/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 10 ago. 2022.

HILLIER, F. S.; HILLIER, M. S. **Introdução à Ciência da Gestão: Modelagem e Estudos de Caso com Planilhas Eletrônicas**. 4. ed. AMGH, 2014.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. AMGH, 2013.

HOOKER, J. N. Integer Programming: Lagrangian Relaxation. *In*: FLOUDAS, C. A.; PARDALOS, P. M. (ed.). **Encyclopedia of Optimization**. 2. ed. [S. l.]: Springer Link, 2009. p. 1667-1673 Encyclopedia of Optimization.

IFOAM. **Princípios da Agricultura Biológica**. Adelaide, 2005 Disponível em: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-05/poa_portuguese_web.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2021.

KESSE-GUYOT, E.; BAUDRY, J.; ASSMANN, K. E.; GALAN, P.; HERCBERG, S.; LAIRON, D. Prospective association between consumption frequency of organic food and body weight change, risk of overweight or obesity: results from the NutriNet-Santé study. **British Journal of Nutrition**, v. 117, p. 325-334, 2017.

LEBNALANDGRAF. **Produção de orgânicos no Brasil**. Canal Rural. [S. l.], 2021. Disponível em:

<https://www.google.com/amp/s/blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2021/09/06/producao-de-organicos-no-brasil/amp/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

NAKANDALA, D.; LAU, H.; ZHANG, J. Cost-optimization modelling for fresh food quality and transportation. **Industrial Management & Data Systems**, v. 116, n. 3, p. 564-583, 2016.

PADBERG, M.; RINALDI, G. A Branch-and-Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems. **SIAM Review**, v. 33, n. 1, p. 60-100, 1991.

PENTEADO, S. R. **Agricultura orgânica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 2001. (Série Produtor Rural, Edição Especial).

REIS, S. A. **Programação estocástica aplicada a cadeia de suprimentos de grãos**: uma revisão sistemática de literatura. XXV Simpósio de Engenharia de Produção, 2017.

REIS, S. A.; LEAL, J. E. **A deterministic mathematical model to support temporal and spatial decisions of the soybean supply chain**. Journal of Transport Geography 43, 48–58, 2015.

SALIN, V. Information technology in agri-food supply chains. **The International Food and Agribusiness Management Review**, v. 1, n. 3, p. 329-334, 1998.

SANTIAGO, J. P. **Por que os produtos orgânicos são mais caros**. Organis. [S. l.], 2017. Disponível em: https://organis.org.br/pensando_organico/por-que-os-produtos-organicos-sao-mais-caros/. Acesso em: 08 jul. 2022.

SILVA, E.L; MENEZES, E.M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. Florianópolis: UFSC, 2005.

SOUSA, R. **Tipos de agricultura**. Mundo educação. [S. l.], c2022. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/mundoeducacao.uol.com.br/amp/geografia/tipos-agricultura.htm>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SOUZA, J. L. de. **Agricultura orgânica**: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis. Vitória, ES: Incaper, 2005.

SOUZA, M. C. C. Aspectos Institucionais do Sistema Agroindustrial de Produtos Orgânicos. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 7-16, mar. 2003.

STOPPELLI, I. M. de B. S.; MAGALHÃES, C. P. Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S. l.], v. 10, p. 91-100, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2005.v10suppl0/91-100/pt/#ModalArticles>. Acesso em: 22 ago. 2022.

THØGERSEN, J. Country Differences in Sustainable Consumption: The Case of Organic Food. **Journal of Macromarketing**, v. 30, n. 2, p. 171-185, 2010.

TIVELLI, S. W. Orgânicos são caros. Por quê? **Pesquisa & Tecnologia**, [S. l.], 2012. v. 9, n. 1, jan.-jun. 2012. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://aao.org.br/aao/pdfs/orgnicos-sao-caros.pdf&ved=2ahUKEwixn5b0vNr5AhVnK7kGHRHjAWIQFnoECAQQBg&usg=AOvVaw2FC9msRxnMHtL7-BgyR6sL>. Acesso em: 10 ago. 2022.

USDA (United States Department of Agriculture). Organic Production and Handling Standards. National Organic Program. 2016. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/OrganicProductionandHandlingStandards.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021.

APÊNDICE

Apêndice A – Tabela com os índices utilizados no modelo matemático

<i>Índice</i>	<i>Descrição</i>
t	Tratores
m	Máquinas
a	Atividades
p	Período
i, j	Nós
o	Origem
l	Lotes

Fonte: autoria própria

Apêndice B – Tabela com as variáveis utilizadas no modelo matemático

<i>Variáveis</i>	<i>Descrição</i>
Inclui_{ptij}	Variável binária que indica se no período p , um trator t percorreu o trecho do nó i ao j
Serviu_{ptla}	Variável binária que indica se no período p , um trator t atendeu à demanda no lote l da atividade a
LigaTrator_{pt}	Variável binária que indica se no período p , o trator t será utilizado
Conectado_{ptm}	Variável binária que indica se no período p , o trator t está conectado à máquina m

Apêndice C – Tabela com os parâmetros utilizados no modelo matemático

Parâmetros	Descrição
Demanda_{ia}	Parâmetro binário que indica se em um lote i existe demanda para uma atividade a
AtividadeMaq_{am}	Parâmetro binário que indica se, para atender à demanda de uma atividade a , a máquina m pode ser utilizada
Duracao_a	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo que cada tipo de atividade a leva para ser completada.
Distancia_{ij}	Parâmetro numérico não negativo que indica a distância, em metros, entre dois nós i e j
DistanciaTempo_{ij}	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, o tempo necessário para percorrer a distância entre dois nós i e j
turno	Parâmetro numérico não negativo que indica, em minutos, a duração do turno de trabalho dos tratoristas
big_M	Parâmetro numérico não negativo utilizado nas restrições quando há a necessidade de utilizar um valor grande
CustoLigar_t	Parâmetro numérico não negativo que indica o custo para ligar cada um dos tratores

Fonte: autoria própria

Apêndice E – Função Objetivo utilizada no modelo matemático

$$\min \left(\sum_p \sum_t \sum_i \sum_j (Inclui_{ptij} * Distancia_{ij}) + \sum_p \sum_t (LigaTrator_{pt} * CustoLigar_t) \right)$$

Apêndice D – Restrições matemáticas utilizadas no modelo matemático

$$\sum_j Incluir_{ptji} = \sum_j Incluir_{ptij} \forall p, t, i \quad (1)$$

$$\sum_p \sum_t \sum_i Incluir_{ptil} = \sum_a Demanda_{la} \forall l \quad (2)$$

$$\sum_p \sum_t Serviu_{ptla} = Demanda_{la} \forall l, a \quad (3)$$

$$\sum_l \sum_o Incluir_{ptlo} = LigaTrator_{pt} \forall p, t \quad (4)$$

$$\sum_l \sum_a (Serviu_{ptla} * Duração_a) + \sum_i \sum_j (Incluir_{ptij} * DistanciaTempo_{ij}) \leq turno \forall p, t \quad (5)$$

$$\sum_i Incluir_{ptil} \geq Serviu_{ptla} \forall p, t, l, a \quad (6)$$

$$\sum_l \sum_a Serviu_{ptla} \leq big_M * LigaTrator_{pt} \forall p, t \quad (7)$$

$$\sum_t \sum_a Serviu_{ptla} \leq 1 \forall l, p \quad (8)$$

$$\sum_t Conectado_{ptm} \leq 1 \forall p, m \quad (9)$$

$$\sum_m \text{Conectado}_{ptm} \leq 1 \forall p, t \quad (10)$$

$$\sum_l \sum_a (\text{Servi}_{ptla} * \text{AtividadeMaq}_{am}) \leq \text{big}_M * \text{Conectado}_{ptm} \forall p, t, m \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_j (\text{Inclui}_{ptij} + \text{Inclui}_{ptji}) = 2 \forall p, t, m \quad (12)$$

sendo que $i \subset \text{subtour}$ e $j \subset \text{fora do subtour}$