

Artigo Científico

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Organic fertilization cost's optimization model

Alexandre De Donato^{1*}; Marcos dos Santos²; Ivânia Maria Lucinda De Donato³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ) *campus* Pinheiral. Direção de Extensão, Pesquisa e Inovação. Rua Jose Breves, 550, Centro, Pinheiral, RJ. CEP: 27.197-000.

²Instituto Militar de Engenharia (IME) – Seção de Engenharia de Computação. Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22.290-270.

³Doutoranda em Nanobiossistemas. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) *campus* Duque de Caxias, RJ. CEP: 25.240-005.

Submetido em: 06-01-2021. Aceito em: 25-04-2021. Publicado em: 01-06-2021.

***Autor para correspondência:** alexandre.donato@ifrj.edu.br

RESUMO

A agricultura urbana tem crescido no Brasil, e nesta os altos custos da adubação orgânica tornam a aplicação de doses de macronutrientes superiores às necessidades da cultura um desperdício econômico relevante, pois na maioria das vezes só é possível atender a uma necessidade nutricional excedendo à de outro (ou outros) nutriente. Problemas de otimização envolvem a minimização ou maximização de uma função de uma ou mais variáveis num determinado domínio. O presente trabalho objetivou determinar a composição de adubos orgânicos a serem utilizados para suprir as necessidades nutricionais de determinadas culturas com o menor custo possível. Utilizou-se um modelo hipotético, sendo o problema formulado em termos matemáticos, identificando o critério de otimização do mesmo, representando-o como uma função linear das variáveis de decisão, o qual consistiu na minimização do custo do adubo. Após a modelagem matemática da situação problema, as equações foram inseridas no software *Linear, Interactive, and Discrete Optimizer* (LINDO). Os resultados obtidos a partir do modelo hipotético utilizado no presente estudo ilustram a possibilidade de utilização de uma ferramenta da Pesquisa Operacional para reduzir os custos de adubação orgânica de plantios. Esta ferramenta pode minimizar os custos de adubação orgânica de plantios, entretanto, é importante lembrar que os custos de adubos orgânicos, bem como as necessidades nutricionais das culturas, são variáveis, podendo uma mesma cultura ter composições de seus adubos e custos ótimos distintos.

Palavras-chave: Redução de Custos; Modelagem Matemática; Fertilidade; Adubação orgânica; otimização.

ABSTRACT

Urban agriculture has grown in Brazil, and their high costs of organic fertilization make the application of macronutrient doses superior to the needs of the crop a relevant economic waste, because generally, it is only possible to satisfy the needs of one nutrient by exceeding the needs of other nutrient. Optimization problems involve minimizing or maximizing a function of one or more variables in a given domain. The present work aimed to determine the composition of organic fertilizers to be used to supply the nutritional needs of certain crops with the lowest possible cost. A hypothetical model was used, the problem being formulated in mathematical terms, identifying the optimization criterion, representing it as a linear function of the decision variables, which consisted in minimizing the cost of the fertilizer. After mathematical modeling the problem situation, the equations were inserted into the Linear, Interactive, and Discrete Optimizer (LINDO) software. The results obtained from the hypothetical model used in the present study illustrate the possibility of using an Operational Research tool to reduce the costs of organic fertilization of plantations. This tool can minimize the costs of organic fertilization of plantations, however, it is important to remember that the costs of organic fertilizers are variable, as well as the nutritional needs of crops, and the same crop can have compositions of their fertilizers and different optimal costs.

Keywords: Costs Reduction; Mathematical Modeling; Fertility; Organic fertilizing; optimization

INTRODUÇÃO

Na adubação orgânica, principalmente nas que se utiliza apenas uma fonte de adubo, é comum a aplicação de doses de determinados macronutrientes maiores que as necessidades da cultura. Tal ação pode significar um desperdício de recursos financeiros expressivo ao longo dos anos e/ou com o aumento da área cultivada.

O excesso de nutrientes tende a ser diminuído quando se utiliza duas ou mais fontes de adubo orgânico, ainda que o produtor não utilize modelos matemáticos de minimização dos custos tendo como função restrição o atendimento às necessidades nutricionais mínimas das culturas.

A agricultura urbana e periurbana tem crescido no Brasil, sendo seu custo de aquisição de adubos orgânicos normalmente elevado. Outra característica é a prioridade dada ao autoconsumo em detrimento da comercialização, sendo, portanto, importante minimizar os custos de produção (MENDES, 2017).

Modelos matemáticos de otimização (que em geral visam à minimização ou maximização de uma função tendo como restrição outra), são considerados complexos, e a ferramenta solver do software Excel (um dos mais acessíveis) dificulta a compreensão do processo de otimização. Desta forma, o conhecimento de softwares que simplificam a obtenção do resultado da otimização, e indicam, diretamente, a proporção “correta” dos diferentes compostos orgânicos, é muito importante. Neste contexto, define-se como “correta” a proporção relativa dos diferentes compostos orgânicos disponíveis a serem aplicados na formulação do adubo orgânico, que, em função das necessidades nutricionais de determinadas culturas e do custo de cada composto (esterco, palha, etc), proporcione o menor custo que atenda às necessidades da cultura.

Pode-se definir adubo orgânico como aquele que é obtido por meio de matéria de origem vegetal ou animal, como esterco, farinhas, bagaços, cascas e restos vegetais decompostos ou em estágio de decomposição (DUTRA, 2016). A matéria orgânica é um agente floculante, influenciando diretamente na formação e estabilidade dos agregados do solo, prevenindo, por conseguinte, os processos erosivos, além de fornecer macro e micronutrientes, corrigir a toxidez e aumentar a infiltração de água e aeração do solo (porosidade e densidade) (REINERT *et al.*, 2008; BORGES *et al.*, 2015).

Longaray (2013) considera que tão significativo quanto a decisão, é o processo que a antecede e que gera ações que podem promover a melhoria da situação problemática. Podendo este processo, usualmente chamado de processo decisório, ser aperfeiçoado e proporcionar o aprendizado organizado e estruturado em cada decisão.

Para Hillier e Lieberman (2013), os modelos matemáticos apresentam muitas vantagens em relação a uma descrição verbal do problema. Uma delas é descrever um problema de forma muito mais concisa, o que tende a tornar mais compreensível a estrutura geral do problema e ajuda a revelar importantes relacionamentos de causa-efeito.

Os problemas de otimização envolvem a minimização ou maximização de função de uma ou mais variáveis num determinado domínio, havendo, via de regra, um conjunto de restrições a estas variáveis. A pesquisa operacional (PO) envolve a confecção de modelos matemáticos aplicados a diversos fenômenos. (RODRIGUES *et al.*, 2017).

No modelo hipotético a ser desenvolvido no presente trabalho, o produtor rural plantará 1 (um) hectare (ha) consorciado com cebola e cenoura e 1 ha em cultivo solteiro das seguintes culturas: Tomate, Batata, Abóbora. Custos hipotéticos e meramente ilustrativos serão atribuídos ao kg dos estercos bovino, equino, suíno e avino, para que seja possível a obtenção do modelo de otimização. Evidentemente, cada cultura possuirá uma necessidade nutricional e cada uma das quatro fontes possíveis de esterco possuirá determinados teores dos seus principais nutrientes, obtidos conforme bibliografia.

Considerando as variáveis acima, o objetivo do presente trabalho é determinar um modelo matemático para processamento no Software Linear, Interactive, and Discrete Optimizer (LINDO), o qual poderá determinar a composição do adubo misto que deve ser utilizada para que o produtor possa suprir as necessidades nutricionais das culturas escolhidas com o “menor custo possível”, ou, matematicamente falando, com o custo mínimo.

Revisão Bibliográfica

Principais conceitos relacionados à adubação orgânica

Um modo de produção que utiliza a adubação orgânica, sendo usado pouco ou nenhum agrotóxico, é frequentemente praticado por agricultores urbanos e periurbanos, cujo mercado consumidor normalmente busca produtos saudáveis. Um dado que corrobora com esta informação é o fato de apenas 10% da produção orgânica do Brasil advir de grandes produtores ligados a empresas privadas (TERRAZZAN & VALARINI, 2009).

De acordo com o artigo 1º da Lei 10.831 (dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências), de 23 de dezembro de 2003, o sistema orgânico de produção agropecuária é todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, além de proteção do meio ambiente (BRASIL, 2003).

Agricultura orgânica pode ainda ser definida como um sistema de produção agrícola que relaciona diretamente a matéria orgânica contida no solo com a sua fertilidade. A ação da fauna microbiana reduz os desequilíbrios provocados pela intervenção humana na natureza. A atuação de microrganismos contidos em compostos biodegradáveis existentes ou colocados no solo possibilita o suprimento de elementos minerais necessários ao desenvolvimento das plantas cultivadas. Nutrição vegetal apropriada e ambiente equilibrado resultam em plantas mais vigorosas e resistentes a doenças e pragas (PIRES *et al.*, 2016). Também pode-se definir agricultura orgânica como um sistema onde o objetivo é agir de um modo que permita que os próprios componentes do ecossistema atuem de modo sinérgico, criando as condições para a produtividade, proteção das culturas, e fertilidade (DOS SANTOS *et al.*, 2016).

A utilização de adubos minerais nitrogenados, além de onerosa, pode aumentar a emissão de gases do efeito estufa, visto que tais adubos, quando em contato com o solo, são metabolizados por microrganismos muitas vezes levando à formação de N₂O (TEIXEIRA *et al.*, 2006). Além disso, pode tornar as culturas mais suscetíveis ao ataque de pragas, de acordo com a teoria da trofobiose (COSTA *et al.*, 2016).

Outra forma de adubação de baixo custo que independe de insumos da indústria é a adubação verde, a qual consiste no plantio e posterior incorporação de espécies fixadoras de nitrogênio ao solo. No tocante à capacidade de recuperação do solo, pode-se destacar o feijão-guandu, com maior biomassa seca, e maior potencial de mobilização de nutrientes e ciclagem (DO NASCIMENTO *et al.*, 2013).

A matéria orgânica é um agente floculante, influenciando diretamente na formação e estabilidade dos agregados do solo, prevenindo, por conseguinte, os processos erosivos, além de alterar características físicas do solo muito importantes para o desenvolvimento vegetal, como a porosidade e a densidade (REINERT *et al.*, 2008).

A adubação orgânica também pode ser vantajosa no tocante à mitigação do efeito estufa, tendo em vista que Da Silva *et al.* (2015) demonstraram que a adubação orgânica com compostos de capim-elefante, palha de café e cama de frango podem ser alternativas para aumentar o estoque de carbono orgânico e de nitrogênio em agrossistema de café Conilon.

Podemos definir adubo orgânico como aquele que é obtido por meio de matéria de origem vegetal ou animal, como esterco, farinhas, bagaços, cascas e restos vegetais decompostos ou em estágio de decomposição. Tal adubo pode receber um tratamento denominado compostagem, na qual a matéria orgânica é “digerida” por um processo fermentativo promovido por microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) e posteriormente sofre uma maturação através do processo de

humificação, que a estabiliza e a torna efetivamente um composto capaz de fertilizar e melhorar a estrutura do solo (DUTRA, 2016).

Importantes funções são exercidas pela matéria orgânica no solo, como fornecimento de macro e micronutrientes, correção da toxidez, melhoramento e condicionamento das características físico-químicas e biológicas, aumento da infiltração de água e aumento da aeração. Os microrganismos que participam do ciclo biológico do solo também têm sua atuação influenciada pela presença de matéria orgânica no solo (BORGES et al., 2015).

Solos tropicais e principais deficiências nutricionais

O solo fornece suporte, água, oxigênio e nutrientes para as plantas, mas também pode servir como meio de sobrevivência a patógenos que podem infectá-las. Diversos trabalhos comprovam que um solo corrigido e equilibrado reduz a ocorrência de determinadas doenças, uma vez que a composição deste afeta a estabilidade de biomembranas e da parede celular dos tecidos das plantas, por conseguinte podendo reduzir a patogenicidade de algumas doenças. A correção do solo por meio de adubos minerais é significativamente mais cara, mas não mais eficaz no controle de doenças (MACEDO & TEIXEIRA, 2009) até mesmo porque, algumas doenças, como por exemplo nematoses, podem ser mantidas abaixo do seu nível de controle, com o uso de adubação orgânica (CAIXETA, 2016).

Os solos tropicais possuem avançado grau de intemperismo, e conseqüentemente baixa fertilidade natural, por isso a matéria orgânica é muito importante nestes, uma vez que a maior parte da capacidade de troca catiônica (CTC) destes solos vem da mesma (SIGNOR *et al.*, 2016). Além disso, apresentam grande capacidade de fixação de fósforo (adsorção e precipitação), limitando a produtividade das culturas (PELUCO *et al.*, 2015).

Ferreira de Souza *et al.* (2006), em um trabalho cujo objetivo foi avaliar o efeito da calagem e do esterco bovino sobre a adsorção de fósforo no solo, concluíram que a elevação dos teores de matéria orgânica do solo contribuiu para a otimização do uso do fósforo pelas culturas, uma vez que tal prática reduz a fixação de fósforo no solo, visto que os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica promovem o bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al. Vieira *et al.* (2013) afirmam que o fósforo tem participação imprescindível no crescimento e frutificação vegetal.

O Nitrogênio (N) é certamente um dos macronutrientes mais essenciais para o desenvolvimento vegetal. Em quantidades insuficientes deste, a planta apresenta crescimento retardado e as folhas mais velhas tornam-se verde-amareladas. Se a falta do nutriente for prolongada, a planta inteira apresentará este sintoma. Na carência de fósforo (P), a taxa de crescimento é reduzida desde os primeiros estádios de desenvolvimento, e as mais velhas adquirem coloração arroxeada. Se a carência se prolongar, as folhas apresentam áreas roxo-amarronzadas, que evoluem para necrose, e com isso a planta retarda sua frutificação. Na carência de Potássio (K), o crescimento se torna lento, as folhas novas afilam e as velhas apresentam amarelecimento das bordas, tornando-se amarronzadas e necrosadas. Os frutos podem apresentar falta de firmeza (CARVALHO, 2016).

Principais aspectos da Pesquisa Operacional

Longaray (2013) considera que tão significativo quanto a decisão, é o processo que a antecede e que gera ações que podem promover a melhoria da situação problemática. É esse processo, usualmente chamado de processo decisório, que pode ser aperfeiçoado e proporcionar o aprendizado organizado e estruturado em cada decisão.

Para Hillier e Lieberman (2013), os modelos matemáticos apresentam muitas vantagens em relação a uma descrição verbal do problema. Uma delas é descrever um problema de forma muito mais concisa, o que tende a tornar mais compreensível a estrutura geral do problema e ajuda a revelar importantes relacionamentos de causa-efeito.

Santos *et al.* (2016) afirmam que a Pesquisa Operacional (PO) atua em cinco grandes áreas que se inter-relacionam, conforme apresentado na Figura 1. Com relação ao estudo ora apresentado, o mesmo possui como fulcro a estruturação de problemas e a otimização de processos produtivos.

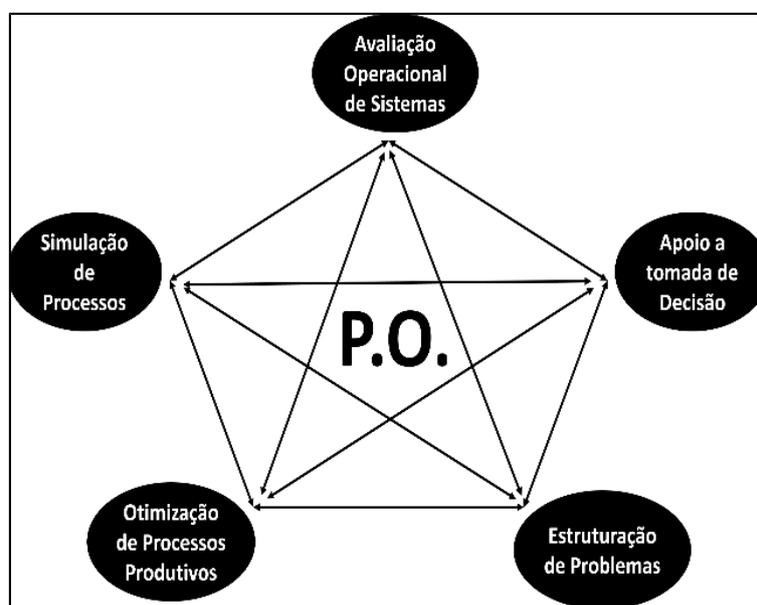


Figura 1. Áreas da Pesquisa Operacional. Fonte: Santos *et al.* (2016)

Os problemas de otimização envolvem a minimização ou maximização de função de uma ou mais variáveis num determinado domínio, havendo, via de regra, um conjunto de restrições a estas variáveis. Os algoritmos usados para solucionar tais problemas são classificados em determinísticos ou probabilísticos (RODRIGUES *et al.*, 2017).

A PO envolve a confecção de modelos matemáticos aplicados a diversos fenômenos. O presente estudo aplicará os conhecimentos desta ciência a apenas os fenômenos considerados estocásticos, visto que seus elementos apresentam uma probabilidade de ocorrência em uma certa forma. Os problemas de PO começaram a ser tratados a partir de uma abordagem organizada (na forma de uma disciplina ou área do conhecimento) a partir da Segunda Guerra Mundial, contudo tais problemas já existem há muito mais tempo (RODRIGUES. *loc. cit.*).

O desenvolvimento da PO foi acelerado por dois eventos: O primeiro foi o desenvolvimento de um algoritmo simples para resolver problemas de programação linear (simplex, proposto por George Dantzig em 1947), o segundo foi a expansão da produção de computadores e o rápido aumento de suas velocidades de processamento. Problemas de PO são usualmente modelados na forma de função objetivo, visando maximizar ou minimizar alguma variável em função de outras variáveis restritivas associadas àquela (ARENALES *et al.*, 2017).

Para que a solução de um problema por meio da programação linear seja possível, é necessário que o mesmo seja formulado em termos matemáticos, e siga três passos básicos: primeiro, identificação das variáveis desconhecidas a serem determinadas (denominadas variáveis de decisão); segundo, listar todas as restrições do problema, expressando-as como equações ou inequações lineares em termos das variáveis de decisão anteriormente mencionadas, objetivando uma minimização ou maximização; terceiro, identificação do objetivo ou critério de otimização do problema, representando-o como uma função linear das variáveis de decisão (ARENALES *et al.*, 2017).

O problema apresentado nessa pesquisa é conhecido na literatura como “problema da dieta” apresentando a estrutura a seguir:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i (i = 1, 2, \dots, m)$$

Com

$$x_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n)$$

Uma vez estruturado o problema e modelado matematicamente, a solução do mesmo pode ser obtida por meio do Método Simplex. Segundo Barbosa e Zanardini (2014), o método simplex é uma importante ferramenta destinada a resolver problemas de Programação Linear. O método consiste em buscar, caso existam, uma ou mais soluções, partindo-se de uma solução básica factível, gerando uma sequência de soluções factíveis. Se a sequência é completa, a solução ótima é obtida.

O algoritmo Simplex é uma ferramenta de PO que trabalha os problemas de modo iterativo. Ele parte de uma solução básica factível inicial (SBFI) e busca, por meio de interações, novas soluções básicas factíveis (SBF), que por sua vez são chamadas de SBF adjacentes (SBFA). As interações dadas pelas SBFA são feitas até que o valor ótimo seja atingido. Esquemáticamente, o algoritmo Simplex pode ser descrito conforme o Quadro 1, a seguir.

Início: O problema deve estar na forma padrão.
Passo 1: Encontrar uma SBF inicial para o problema de PL.
 SBF inicial = SBF atual
Passo 2: Verificar se a SBF atual é a solução ótima do problema de PL.
Enquanto a SBF atual não é a solução ótima do problema de PL **faça**
 Encontrar uma SBF adjacente com melhor valor na função objetivo
 SBF adjacente = SBF atual
Fim enquanto

Quadro 1. Descrição do algoritmo Simplex. Fonte: Belfiore e Fávero (2013).

Outros contribuições da adubação orgânica à otimização de recursos

Menezes & da Silva (2008) avaliaram o efeito de 6 anos de adubação orgânica sobre as características químicas de um Neossolo Regolítico cultivado com batata, e, com a utilização de 15 toneladas por ha de esterco de gado, houve um aumento significativo dos teores de CO, N e P totais e Zn, Mg, B, P e K extraíveis, concluindo que esta adubação em doses menores combinada a adubação verde pode garantir a manutenção da fertilidade do solo em longo prazo.

É consenso entre os produtores agroecológicos que a diversificação da produção agrícola dentro de uma mesma área é fundamental para um agroecossistema ecologicamente equilibrado e economicamente sustentável. Essa diversificação pode ser obtida por meio do consórcio agrícola, no qual duas ou mais culturas dividem o mesmo espaço no mesmo período, e através da rotação de culturas, no qual duas ou mais culturas ocupam o mesmo espaço em épocas diferentes. Neste sentido, uma maneira de aumentar ainda mais a otimização dos recursos da propriedade, também utilizando modelos matemáticos, seria, além de otimizar a proporção relativa de diferentes fontes de adubos orgânicos, usar o modelo computacional estabelecido por Santos *et al.* (2007), que estabelece um sistema sequencial de plantio de espécies vegetais em uma mesma área, utilizando como critérios de programação computacional a família botânica, clima, solo, culturas plantas nas propriedades vizinhas e o ciclo das culturas a se plantar, para estabelecer um planejamento otimizado de rotação de culturas o qual maximiza a ocupação dos lotes. Tal modelo foi estabelecido utilizando adubação verde e programando um período de pousio.

Ainda de acordo com Santos *et al.* (2007), é indispensável que as rotações tenham o mesmo tamanho (intervalo de tempo necessário para que a sequência de culturas se repita) neste modelo de otimização; quando o plantio em áreas vizinhas fizer parte do conjunto de restrições, caso contrário, as rotações podem ter tamanhos distintos.

De Paula (2008) em um estudo que objetivou examinar as condições necessárias para transpor os conceitos clássicos de margem de contribuição e programação linear para o contexto de uma empresa produtora de soja, visando à maximização do lucro, concluiu que só é possível efetuar esta operação caso os custos variáveis tenham como referência a área plantada (com produtividade e qualidade padronizada), e não a quantidade produzida. Tal estudo utilizou dados discretos e determinísticos, sendo necessário que estudos posteriores utilizem dados estatísticos e probabilísticos.

É importante frisar que as necessidades nutricionais de uma cultura variam conforme a produtividade esperada, e, ao contrário do que muitos agricultores praticam, não se deve visar à produtividade máxima, mas sim à produtividade que proporcione o maior lucro possível, pois aumentar a quantidade de nutrientes adicionados ao solo, a partir de um certo ponto, traz um aumento de custos maior que o aumento de receitas proporcionado pelo aumento da produção causado por este incremento nutricional.

Fernandes *et al.* (2012) utilizou a ferramenta SOLVER do Software Excel para calcular a composição de um biofertilizante composto por mais de 10 ingredientes (orgânicos em sua maioria, com alguns minerais como o calcário dolomítico e o Cloreto de Potássio), entre eles o sangue, o qual foi restringido ao máximo de 2%, devido ao mau cheiro. É importante frisar, que apesar do sucesso em obter um biofertilizante que atendesse à maioria das necessidades nutricionais de micro e macronutrientes da cultura do milho, alguns nutrientes, como o N, não puderam compor o biofertilizante na quantidade mínima exigida pela cultura, visto que, neste estudo, em razão de se objetivar atender também às necessidades de micronutrientes da cultura, valores muito acima desta não puderam ser tolerados devido à possibilidade de toxicidade.

Scheidegger e Largo (2018) utilizaram o Software Excel, através do método *branch and bound* para otimizar os custos da adubação orgânica de um plantio de café, tendo com restrição todos os macronutrientes e micronutrientes das culturas vegetais, e utilizando a adubação orgânica de modo complementar à adubação química. As principais fontes de nutrientes utilizados foram: Esterco de Curral, de galinha, Palha de café, cama de aviário, Sulfato de Manganês e Sulfato de Cálcio. Concluíram que o Software têm resultados confiáveis capazes de atingir um custo ótimo para a adubação do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

As plantas precisam de macronutrientes e micronutrientes para o seu desenvolvimento. Tais nutrientes são essenciais, entre outras razões, por estarem presentes em tecidos fundamentais para o desenvolvimento das plantas. Os macronutrientes são requeridos na ordem de kg/ha enquanto os micronutrientes o são na ordem de g/ha. Os macronutrientes são C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S, enquanto os micronutrientes são: Mo, Zn, Cu, Fe, Co, Mn, B e Cl. Adubos orgânicos, em geral, contêm todos os micronutrientes necessários para a o desenvolvimento vegetal, além de Ca, S, Mg (VELEZ, 2008). Por este motivo, e para evitar uma complexidade que em nada somaria à compreensão do modelo proposto pelo presente trabalho, a otimização dos custos com adubação no atual modelo levou em conta apenas os teores de N, P e K dos adubos orgânicos utilizados.

O produtor deseja plantar cinco culturas de forma que a necessidade de N, P e K das culturas seja suprida com o menor custo possível com a compra de esterco bovinos, suínos, equinos e de aves. A determinação da composição do adubo misto será determinada por meio do Software LINDO, e as fórmulas que devem ser inseridas nesta estarão presentes nos próximos parágrafos.

A função objetivo será a minimização dos custos com a compra de esterco bovino e/ou equino e/ou suíno e/ou de aves, sem que haja déficit de N, P ou K para as culturas escolhidas. As restrições serão o custo dos esterco, o teor de N, P e K destes e a necessidade nutricional das culturas.

A batateira é capaz de extrair de 2,4 a 8,2 kg de N para cada tonelada produzida. A produtividade média do Brasil em 2019 foi igual a 31,68 toneladas por hectare. Para fins de arredondamento, optou-se por uma produtividade esperada igual a 37,5 toneladas por ha. Utilizando o teor médio de extração de N, teríamos 5,3 kg de N para cada tonelada produzida. Contudo, é necessário considerar que a liberação de nutrientes por adubos orgânicos não é prontamente disponível e uma parte pode ficar imobilizada por micro-organismos. Portanto, partiu-se do pressuposto que seriam necessários 8kg de N para cada tonelada produzida, tendo sido a necessidade de N para a cultura da batata determinada em 300 kg por ha. Um raciocínio análogo foi utilizado para a determinação das necessidades nutricionais de P e K (Fernandes & Soratto, 2012; IBGE, 2021).

A ceboleira é mais exigente nutricionalmente que a batateira, necessitando de de 25 a 40 Kg de N por tonelada de produção, 2 a 4 de P e 20 a 50 de K. Estimou-se a produtividade da cebola em 40 toneladas por ha, e considerando os fatores de perdas de nutrientes mencionados no parágrafo anterior, obteve-se os valores da tabela 2 (SANTA CATARINA, 2018).

Utilizando um raciocínio análogo ao dos dois parágrafos anteriores, e de acordo com dados fisiológicos e edáficos encontrados na literatura (uma vez que o presente trabalho se trata de um modelo que pode ser aplicado a diversas situações) e supondo uma produtividade das culturas de tomate, cenoura e abóbora como sendo, respectivamente, 40, 58 e 16, toneladas por ha, e supondo também uma densidade de plantio das culturas como sendo, respectivamente, 15000; 555000 e 850 plantas por ha, obteve-se os valores de necessidades nutricionais da tabela 2 apresentada abaixo (MUELLER *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2020).

Tabela 2. Principais necessidades nutricionais por ha das culturas a serem plantadas

	Batata	Cebola	Tomate	Cenoura	Abóbora
Nec.N	300	120	120	300	50
Nec.P	180	150	200	150	150
Nec.K	300	180	100	180	70

Legendas: Nec.N = Necessidade de Nitrogênio em Kg por ha; Nec.P = Necessidade de Fósforo em Kg por ha; Nec.K = Necessidade de Potássio em Kg ha.

A quantidade de N, P e K presente nos esterco bovino, equino, suíno e de aves variou conforme a bibliografia consultada. Por esta razão, foram atribuídas as quantidades presentes na tabela 3 de acordo com Embrapa (2020), CI Orgânicos (2020) e Benedetti (2020).

A minimização dos custos foi feita da seguinte forma: Levando em conta o valor pago pelo esterco, determinou-se a função objetivo, a qual consistia na minimização do custo com adubação. Após inserida a função objetivo no software, para cada plantio, inseriu-se a respectiva função restrição, a qual consistia no somatório da quantidade de cada um dos adubos que poderia ser utilizado multiplicado pelo seu respectivo teor nutricional de determinado nutriente, tendo como resultado um valor igual ou superior à necessidade da cultura daquele respectivo nutriente.

Tabela 3. Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em diferentes fontes de adubo orgânico em kg por 10 toneladas.

CO	N	P	K
Bovino	170	90	140
Equino	140	50	170
Suíno	190	50	40
Aves	300	300	200

Logo, o modelo de otimização, para cada plantio, utilizou uma função objetivo e três funções de restrição (uma para o N, outra para o P e outra para o K). Por se tratar de um modelo hipotético simplificado, os custos de cada um dos diferentes adubos foram extraídos de pesquisas rápidas feitas pelo site OLX, onde eram anunciadas vendas de esterco. No dia 26 de março de 2021, os preços das toneladas dos esterco bovino, equino, suíno e de aves, encontrados foram, respectivamente, R\$ 400, R\$ 760, R\$ 730 e R\$ 1150. Estes valores foram colocados com fins meramente ilustrativos, apenas para facilitar o a compreensão do processo, visto que trabalhar com incógnitas, tais com as letras x, y, z, poderia tornar o processo de otimização menos compreensível, portanto, preferiu-se exemplificar com números todo o procedimento matemático (OLX, 2021; OLX (1), 2021; OLX (2), 2021; OLX (3), 2021).

Funções de restrição

Tendo como base as tabelas 2 e 3, na qual foi feita a divisão por 10000 dos números presentes na tabela 3, a fim de se obter o teor de nutrientes por Kg de cada material orgânico, e da tabela 2 foi obtida a média aritmética das necessidades nutricionais de cebola e cenoura para obter as necessidades do consórcio, foi possível obter as seguintes equações de restrição ao modelo de minimização de custos:

Funções de restrição dos diferentes plantios:

Consórcio cebola/cenoura

$$0,017B + 0,014E + 0,019S + 0,03A = 210$$

$$0,009B + 0,0057E + 0,005S + 0,03A = 325$$

$$0,014B + 0,017E + 0,004S + 0,02A = 180$$

Cultivo solteiro de tomate

$$0,017B + 0,014E + 0,019S + 0,03A = 120$$

$$0,009B + 0,0057E + 0,005S + 0,03A = 300$$

$$0,014B + 0,017E + 0,004S + 0,02A = 100$$

Cultivo solteiro de batata

$$0,017B + 0,014E + 0,019S + 0,03A = 300$$

$$0,009B + 0,0057E + 0,005S + 0,03A = 250$$

$$0,014B + 0,017E + 0,004S + 0,02A = 300$$

Cultivo solteiro de Abóbora

$$0,017B + 0,014E + 0,019S + 0,03A = 50$$

$$0,009B + 0,0057E + 0,005S + 0,03A = 100$$

$$0,014B + 0,017E + 0,004S + 0,02A = 70$$

Função objetivo

O custo da tonelada dos esterco bovino, equino, suíno e avino foi considerado, respectivamente, R\$ 400, R\$ 760, R\$ 730 e R\$ 1150. os valores foram divididos por 10000, em virtude do fato da composição nutricional dos esterco, na tabela 3, ser expressa por 10 toneladas (10000 kg). Caso os valores não tivessem sofrido esta divisão, ou se todos fossem multiplicados por uma mesma constante, o resultado do processo de otimização seria o mesmo. Segue a função objetivo:

$$0,04B + 0,076E + 0,073S + 0,115A = \text{Mínimo.}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Software utilizado para efetuar a otimização aplica o método matemático denominado Simplex, o qual é um algoritmo matemático que na maioria das vezes exige a utilização de processamento computacional para o cálculo da solução do problema. Na maioria dos “problemas reais” é tecnicamente impossível realizar os cálculos do método Simplex manualmente. Assim, após a modelagem matemática da situação-problema, a função objetivo e as funções de restrição foram inseridas no software *Linear, Interactive, and Discrete Optimizer* (LINDO). Apesar da função-objetivo ser a mesma para todos os plantios, em razão do mesmo custo com esterco, como há diferentes funções de restrição (em virtude das diferentes necessidades nutricionais), foi feito um cálculo de valor ótimo de composição de adubo para cada plantio. A Figura 2 mostra a janela do LINDO com a modelagem da cultura de cebola/cenoura.

```
LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
min 0.04B + 0.076E + 0.073S + 0.115A
st
0.017B + 0.014E + 0.019S + 0.03A >= 210
0.009B + 0.0057E + 0.005S + 0.03A >= 150
0.014B + 0.017E + 0.004S + 0.02A >= 180
end
```

Figura 2. Modelagem da cultura de cebola/cenoura no software LINDO. Fonte: Autores (2018).

Obteve-se como resultado dez toneladas do adubo B e duas toneladas do adubo A, por ha, conforme ilustra a Figura 3.

```
LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
Reports Window
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 630.0000
VARIABLE VALUE REDUCED COST
B 9999.999023 0.000000
E 0.000000 0.045075
S 0.000000 0.053375
A 2000.000366 0.000000
ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 20.000006 0.000000
3) 0.000000 -3.375000
4) 0.000000 -0.687500
NO. ITERATIONS= 2
```

Figura 3. Solução do software LINDO para a cultura de cebola/cenoura. Fonte: Autores (2018)

A Figura 4 mostra a janela do LINDO com a modelagem matemática da cultura de tomate.

```
LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
F:\artigos em processamento\tomate
min 0.04B + 0.076E + 0.073S + 0.115A
st
0.017B + 0.014E + 0.019S + 0.03A >= 120
0.009B + 0.0057E + 0.005S + 0.03A >= 200
0.014B + 0.017E + 0.004S + 0.02A >= 100
end |
```

Figura 4. Modelagem da cultura do tomate no software LINDO. Fonte: Autores (2018)

Obteve-se como resultado um pouco mais de seis toneladas e meia do adubo A, conforme ilustra a Figura 5.

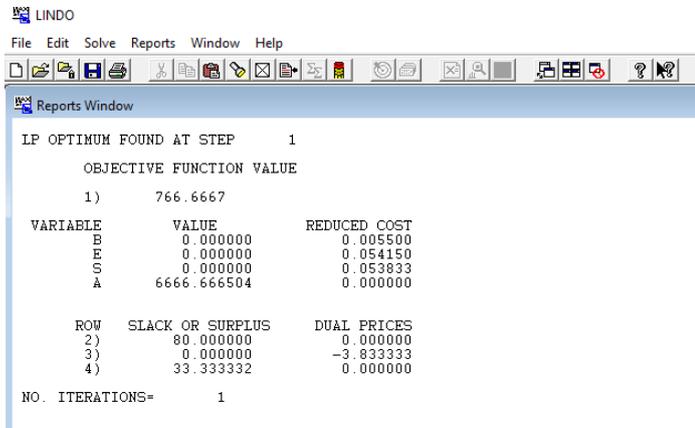


Figura 5. Solução do software LINDO para a cultura do tomate. Fonte: Autores (2018)

A Figura 6 mostra a janela do LINDO com a modelagem matemática da cultura da abóbora.

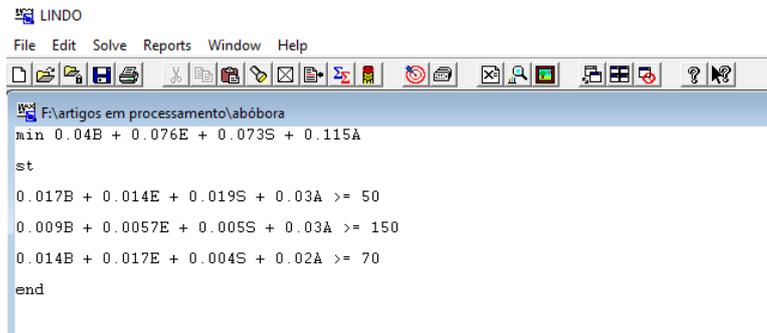


Figura 6. Modelagem da cultura da abóbora no software LINDO. Fonte: Autores (2018)

Obteve-se como resultado cinco toneladas do adubo A, conforme ilustra a Figura 7.

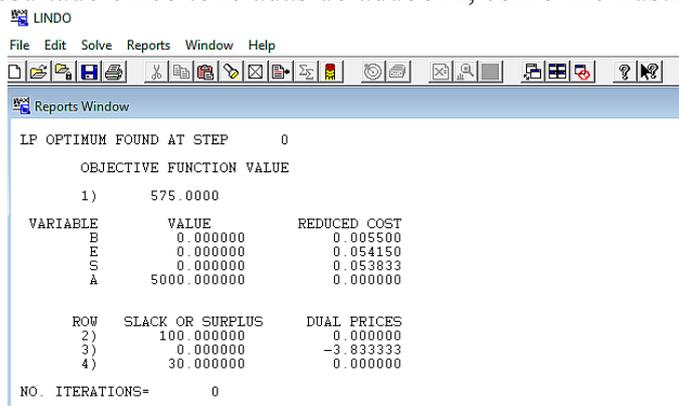
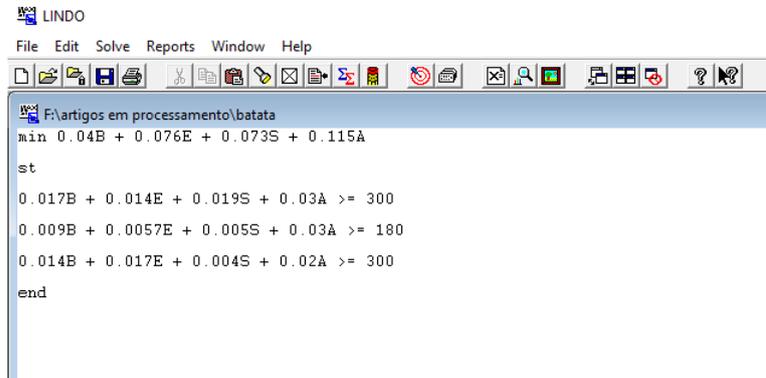


Figura 7. Solução do software LINDO para a cultura da abóbora. Fonte: Autores (2018).

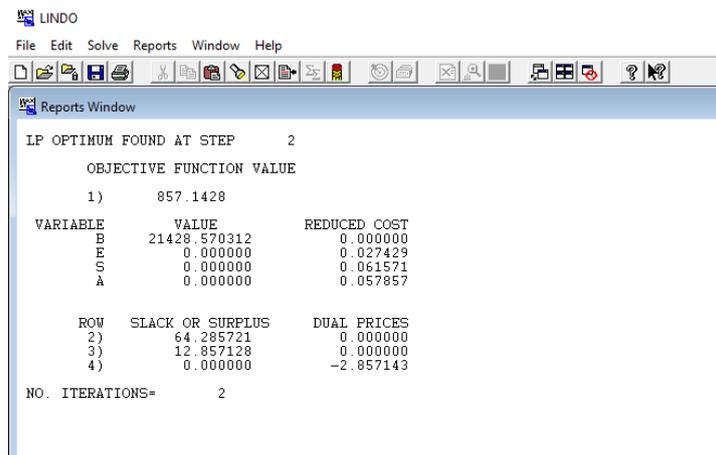
A Figura 8 mostra a janela do LINDO com a modelagem matemática da cultura da batata.



```
LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
F:\artigos em processamento\batata
min 0.04B + 0.076E + 0.073S + 0.115A
st
0.017B + 0.014E + 0.019S + 0.03A >= 300
0.009B + 0.0057E + 0.005S + 0.03A >= 180
0.014B + 0.017E + 0.004S + 0.02A >= 300
end
```

Figura 8. Modelagem da cultura da batata no software LINDO. Fonte: Autores (2018).

Obteve-se como resultado 21,5 toneladas do adubo B, conforme ilustra a Figura 9.



```
LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
Reports Window
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 857.1428
VARIABLE VALUE REDUCED COST
B 21428.570312 0.000000
E 0.000000 0.027429
S 0.000000 0.061571
A 0.000000 0.057857
ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 64.285721 0.000000
3) 12.857128 0.000000
4) 0.000000 -2.857143
NO. ITERATIONS= 2
```

Figura 9. Solução do software LINDO para a cultura da batata. Fonte: Autores (2018).

Utilizando a dosagem de esterco bovino que propiciou a maior produtividade da batateira relatada no trabalho desenvolvido por Borchardt *et al.* (2011) (24 toneladas por ha) (o qual não utilizou nenhum método de otimização de custos), haveria um excesso de N, P, K, respectivamente, da ordem 108, 36 e 36 kg por ha, atrelado a um custo adicional de aproximadamente R\$ 1.000,00 por ha, quando comparados com as 21,5 toneladas de esterco bovino resultantes do processo de otimização do presente modelo.

Em relação ao cultivo da abóbora, recomenda-se adubar com 20 a 30 toneladas de esterco bovino. Mesmo que se adotasse o menor valor recomendado, haveria um excesso de aplicação de N, P e K da ordem de, respectivamente, 290, 75 e 105 kg por ha, atrelados a um custo adicional de R\$ 2250,00 por ha, ao comparar o resultado a otimização do presente modelo, que apontou a utilização de 5 toneladas de esterco de aves como suficiente para suprir as necessidades da cultura com o menor custo possível.

Em virtude do fato da adubação orgânica ter como característica a liberação lenta de nutrientes pela matéria orgânica, este excesso de nutrientes aplicados, a curto prazo, não representaria perdas (ao contrário do que seria se estivéssemos falando de nutrientes solubilizados, uma vez que estes são rapidamente lixiviados), uma vez que estes podem ser aproveitados nos próximos plantios (poderíamos comparar o processo a uma poupança de nutrientes no solo). Contudo, aplicar matéria orgânica em excesso por muitos anos consecutivos, pode ser um desperdício irreversível de recursos naturais e financeiros (JUNIOR & OLIVEIRA, 2019).

No tocante ao cultivo do tomate, Roos *et al.* (2020) utilizaram de 20 a 60 toneladas de esterco de aves por ha, na adubação do tomateiro. Utilizando a dose média do experimento anteriormente relatado, os nutrientes N e K teriam um excesso superior a 1 tonelada por ha, e P teria aproximadamente 600 kg, enquanto o custo por ha seria aproximadamente R\$ 38.000 superior.

É importante frisar que os autores do presente trabalho não estão afirmando que, de fato, houve um excesso de nutrientes tão grande aplicado nas adubações efetuadas pelos autores dos três parágrafos anteriores, uma vez que as necessidades das culturas são variáveis em funções das condições edafoclimáticas às quais estão submetidas as culturas e também à sua genética.

Para o consórcio entre cebola e cenoura, cálculos análogos aos efetuados nos quatro parágrafos anteriores foram efetuados para que se pudesse comparar os devidos parâmetros, de acordo com as recomendações efetuadas por Embrapa (2010) (10 toneladas de esterco de aves por hectare). Este e os demais resultados se encontram na tabela 4, que faz um comparativo teórico entre o excedente de nutrientes e o custo das adubações recomendadas encontradas na literatura e a adubação resultante da otimização efetuada pelo software LINDO.

Tabela 4. Comparação entre resultados da adubação orgânica recomendada pela literatura e os obtidos com a adubação otimizada.

Cultura	E.N.L	E.N.Ot	E.P.L	E.P.Ot	E.K.L	E.K.Ot	CL (R\$)	COt(R\$)
Abóbora	290	100	75	0	105	30	8.000,00	5.750,00
Batata	108	65,5	36	13,5	36	01	9.600,00	8.600,00
Ceb/cen	90	20	150	0	20	0	11.500,00	6.300,00
Tomate	1060	81	600	01	1060	34	46.000,00	7.705,00

E.N.L = Excesso de Nitrogênio aplicado com adubação recomendada pela literatura

E.N.Ot = Excesso de Nitrogênio com adubação otimizada

E.P.L = Excesso de Fósforo aplicado com adubação recomendada pela literatura

E.P.Ot = Excesso de Fosforo com adubação otimizada

E.K.L = Excesso de Potássio aplicado com adubação recomendada pela literatura

E.K.Ot = Excesso de Potássio com adubação otimizada

CL = Custa da adubação orgânica recomendada pela literatura

COt = Custa da adubação orgânica otimizada

CONCLUSÕES

A Pesquisa Operacional pode minimizar os custos de adubação orgânica de plantios, entretanto, é importante lembrar que os teores de macronutrientes destes adubos, bem como seus custos, são variáveis, podendo uma mesma cultura ter composições e custos ótimos distintos, em razão das demais condições de plantio. Contudo, é fundamental frisar que se trata de uma ferramenta auxiliar, totalmente incapaz de, por si só, decidir qual a melhor composição de um adubo orgânico misto para uma determinada cultura.

Somente após a execução de uma série de procedimentos fundamentais para o planejamento da adubação de um sistema produtivo agrícola, tal como a análise de solo e/ou análise foliar, além de consultas à literatura sobre a fisiologia da planta e necessidades nutricionais da espécie a ser cultivada, e conseqüentemente, tendo todos os números contidos nas tabelas 2 e 3 (que no presente trabalho constam apenas para ilustrar o método de otimização), pode-se efetuar o procedimento de otimização de custos apresentado no presente trabalho.

Por fim, para ressaltar a importância (não só econômica como também ambiental) da adubação orgânica, reiteram-se os benefícios ambientais desta, como por exemplo: melhoria da estrutura dos solos e aumento da infiltração de água nestes, combate à erosão e redução da poluição de recursos hídricos e da atmosfera.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M, MORABITO, R, ARMENTANO V, YANASSE, H. Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. Elsevier Brasil, 2017.
- BARBOSA, MA; ZANARDINI, RAD. **Pesquisa Operacional: Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de Gestão**. 2. Ed. Curitiba: InterSaberes, 2014.
- BELFIORE P, FÁVERO LP. **Pesquisa Operacional Para Cursos de Administração, Contabilidade e Economia**, ELSEVIER BRASIL, 2013.
- BORGES, CS, RIBEIRO, BT. WENDLING, B, CABRAL, DA. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro/Soil aggregation, organic carbon and CO₂ emission in different land uses in Brazilian Savanna, Triangulo Mineiro region. **Revista Ambiente & Água** 10(3), 660-668, 2015.
- BRASIL. Lei Nº 10831, de 23 de Dezembro de 2003. **Regulamento Orgânico Brasileiro**, Brasília, DF, mar 2018. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.831.htm>. Acesso em: 10 dez. 2020.
- BENEDETTI, EL; SANTIN, D; STASKOVIK, AP; NOVAK, CF; JANSEN, TAL; MORAIS, BC. Adubação orgânica estimula o crescimento de erva-mate e araucária a campo. *Revista Técnico Científica do IFSC* 2(9), 4-10, 2020.
- BORCHARTT, L; SILVA, IDFD; SANTANA, EDO; SOUZA, CD; FERREIRA, LE. Adubação orgânica da batata com esterco bovino no município de Esperança-PB. *Revista Ciência Agronômica* 42(2), 482-487, 2011.
- CI Orgânicos Centro de Inteligência. Composto orgânico à base de esterco bovino: Como fazer? Biblioteca. 2020. Disponível em: < <https://ciorganicos.com.br/biblioteca/composto-organico-a-base-de-esterco-bovino-como-fazer/>> Acesso em: 26 mar. 2021.
- CAIXETA, LB. **Diversidade de nematoides em sistemas de uso do solo nos biomas de mata atlântica e caatinga e aspectos taxonômicos e filogenéticos da família Telotylenchidae**. 2016, 98f. Tese - (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, 2016.
- JUNIOR, RM; OLIVEIRA, RL. Abóbora pode ser cultivada em sistema orgânico. **Campos & Negócios online**, 2019. Disponível em: < <https://revistacampoenegocios.com.br/abobora-pode-ser-cultivada-em-sistema-organico/>> Acesso em: 26 mar. 2021.
- CARVALHO, M. A adubação do trigo em Portugal: o problema do seu uso eficiente. **Agrotec** 18, 40-43, 2016.

- DA SILVA, VM; TEIXEIRA, AFR, DE SOUZA, JL, GUIMARÃES, GP, BENASSI, AC, DE SÁ MENDONÇA, E. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Densidade do Solo em Sistemas de Adubação Orgânica de Café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39(5), 1436-1444, 2015.
- DE PAULA, WL. **Margem de contribuição e programação linear na atividade grícola: O caso de uma empresa produtora de sojas especiais**. 2008, 130f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG. 2008.
- DO NASCIMENTO, AVS; DA SILVA MELO, G, DA SILVA, JL, PAIVA, RG. Utilização de adubação orgânica e convencional no manejo da podridão radicular da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em sistema agrícola familiar no município de Humaitá-am. **EDUCAzônia** 10 (1), 165-173, 2013.
- DOS SANTOS, RM; FREITAS, LPC; DA SILVA MATOS, C; DE CARVALHO, AR. A Prática da Produção Orgânica por Pequenos Produtores Rurais da Cooperativa Dirituia no Nordeste Paraense. **Cadernos de Agroecologia** 10(3), 2016.
- DUTRA, KOG; CAVALCANTE, SN; VIEIRA, IGS; ANDRADE, R. A adubação orgânica no cultivo da melancia cv. *Crimson sweet*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** 6(1), 2016.
- EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Apostila de adubos orgânicos: Adubação Orgânica. Repositório, p. 1 – 15, 2020. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Adubacao_organica_todos_os_residuosID-zK5PfRf3wp.pdf > Acesso em: 26 mar. 2021.
- EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cenoura: Saiba como cultivar hortaliças para semear bons negócios. Série Agricultura familiar. 2010. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/documents/1355126/9124396/cenoura.pdf/19c5dcd7-a384-4ada-9356-6f59f38f7883#:~:text=A%20cenoura%20responde%20%C3%A0%20aduba%C3%A7%C3%A3o,de%2010%20toneladas%20por%20hectare> > Acesso em: 26 mar. 2021.
- FERNANDES, JD; JUNIOR, AFM; CHAVES, LHG; GONÇALVES, CP; CRUZ, MP. Formulação de biofertilizante utilizando a ferramenta Solver do Microsoft Office. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 6(4), 101-105, 2012.
- FERNANDES, AM; SORATTO, RP. Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira. Botucatu: FEPAF; Itapetininga: ABBA, 2012. 121 p.
- FERREIRA DE SOUZA, R; FAQUIN, V; FERREIRA-TORRES, PR; PEREIRA-BALIZA, D. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30(6), 2006.
- HILLIER, FS; LIEBERMAN, GJ. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9ª Ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas. Produção Agrícola: Lavoura Temporária. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193> > Acesso em: 30 mar. 2021.
- LONGARAY, AA. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.
- MACEDO, M. A.; TEIXEIRA, W. Sul do Amazonas, nova fronteira agropecuária? O caso do município de Humaitá. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, 5933-5940, 2009.
- MENDES, LS. **Agricultura urbana e periurbana como fonte de renda através do autoconsumo**. 2017, 64f. Monografia - (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- MENEZES, RSC; DA SILVA, TO. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 12 (3), 251-258, 2008.
- MUELLER, S; SUZUKI, A; WAMSER, AF; VALMORBIDA, J; FELTRIM, AL; BECKER, WF. Parcelamento de adubação fosfatada no plantio e em cobertura do tomateiro tutorado. **Agropecuária Catarinense** 31(2), 54-57, 2018.
- OLX. “Esterco bovino” no Brasil. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/brasil?q=esterco%20bovino> > Acesso em: 26 mar. 2021.
- OLX(a). “Esterco equino” no Brasil. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/brasil?q=esterco%20equino> > Acesso em: 26 mar. 2021.
- OLX (b). “Esterco suíno” no Brasil. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/brasil?q=esterco%20suino> > Acesso em: 26 mar. 2021.
- OLX (c). “Esterco de aves” no Brasil. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/brasil?q=esterco%20de%20aves> > Acesso em: 26 mar. 2021.

- PEREIRA, HR, ALVES, RN; DA SILVA-CHAVES, J, DE MATOS, SM, DO NASCIMENTO, JPS, SOARES, RB; DA SILVA, LS. Compostagem de serragem e adubação da cultura da abóbora no Sul do estado de Roraima. **Research, Society and Development** **9**(11), 929-995, 2020.
- PELUCO, RG, JÚNIOR, JM, SIQUEIRA, DS, PEREIRA, GT, BARBOSA, RS, DE BORTOLI-TEIXEIRA, D. Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **50**(3), 259-266, 2015.
- PIRES, WLR; PANTALEÃO, EDO; OKAWADA, F; DE JESUS, M; BRESSAN, I. Produção Orgânica no Brasil. **Cadernos de Agroecologia** **10**(3), 2016.
- REINERT, DJ, ALBUQUERQUE, JA; REICHERT, JM; AITA, C, ANDRADA, MMC. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** **32**, 185-16, 2008.
- RODRIGUES, EF; DE OLIVEIRA, MAM; CAPOCCI, NR; NASCIMENTO, BS; LOPES, FB. Otimização linear como apoio à logística de distribuição. **South American Development Society Journal** **2**(6), 50-65, 2017.
- ROOS, E; SOARES, AÂDSC; MOREIRA, AG; DOS SANTOS, ER; DA COSTA, PF; SILVA, WP. Influência do esterco de aves na produção do tomate cereja. **Cadernos de Agroecologia** **15**(2), 2020.
- TEIXEIRA, FCP, REINERT, F, RUMJANEK, NG, BODDEY, RM. Quantification of the contribution biological nitrogen fixation to *Cratylia mollis* using the ¹⁵N natural abundance technique in the semi-arid Caatinga region of Brazil. **Soil Biol Biochem** **38**, 89-93, 2006.
- SANTA CATARINA. Governo do Estado. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da cebola **Boletim Técnico** **184**. 2018.
- SANTOS, L. M. R.; ARENALES, M. N.; RAGGI, L. A. Um modelo para a programação de rotações de culturas. **Pesquisa Operacional**, **27** (3), 535-547, 2007.
- SANTOS, M; SILVA, AMT; LIMA, IC; DIAS, FC; MARTINS, ER. Application of AHP Method in the formation of a Performance Indicator for Operational Level Professionals. **International Journal of Development Research** **6**(12), 10610-10615, 2016.
- SCHEIDEGGER, APG, LARGO, JJJ, CRUZATO, NP, ARCOS, JL. **Optimization of the fertilizer mixture to supply the requirements of Arabic coffee nutrients**. Manuscript submitted for publication. 2018.
- SIGNOR, D; CZYCZA, RV; MILORI, DMBP; CUNHA, TJF; CERRI, CEP. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **51** (9), 1438-1448, 2016.
- SILVA, JND; BEZERRA-NETO, F; LIMA, JSSD; SANTOS, ECD; NUNES, RLC; CHAVES, AP. Produção e benefícios em associações de cenoura e feijão-caupi sob adubação verde e arranjos espaciais. **Revista Ciência Agronômica** **51**(4), 2020.
- TERRAZZAN, P; VALARINI, PJ. Situação do mercado de produtos orgânicos e as formas de comercialização no Brasil. **Informações Econômicas** **39**(11), 2009.
- VELEZ, LAL. Agricultura Campesina y Desarrollo Rural. **Facultad de Ciencias Agropecuarias** **6** (1), 78-86, 2008.
- VIEIRA, RCB; BAYER, C; FONTOURA, SMV; ANGHINONI, I; ERNANI, PR; MORAES, RPD. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **37**(1), 188-198, 2013.

