

USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DENTRO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Use of Linear Programming in Process Optimization within the Food Industry

Uso de la Programación Lineal en la Optimización de Procesos dentro de la Industria de Alimentos

Romilda Ramos da Silva*^{1,3}, Camila Mariane da Silva Soares¹, Aynaran Oliveira de Aguiar¹, Douglas da Silva Gomes³, Glêndara Aparecida de Souza Martins¹, Warley Gramacho da Silva²

¹Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos, Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.

² Professor, Doutor em Ciência da Computação, UFT, Palmas, TO, Brasil.

³Discente de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.

*Correspondência: Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos, Universidade Federal do Tocantins, Av. NS 15, ALCNO 14 - Bloco II, Sala 06, 109 Norte, Palmas, Tocantins, Brasil. CEP:77.010-090. e-mail romilda.rds@mail.uft.edu.br.

Artigo recebido em 29/04/2019 aprovado em 03/05/2019 publicado em 16/06/2019.

RESUMO

A indústria está em constante mudança, sempre em busca de soluções que lhes forneçam melhorias a um custo acessível, e uma das maneiras possíveis para que isso aconteça é o uso da Programação Linear como método de otimização, devido a sua facilidade na resolução de problemas. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o quanto o uso da Programação Linear pode ser importante na indústria de alimentos, para a redução de custos, maximização de lucros, controle de produção, otimização de recursos entre outros. O desenvolvimento deste trabalho se deu a partir de pesquisas bibliográficas sobre o uso desta ferramenta como auxílio para as melhorias dentro de uma indústria, demonstrando os resultados significativos obtidos após a inserção da Programação Linear como método de otimização.

Palavras-chave: Programação Linear, Otimização, Processos industriais.

ABSTRACT

The industry is constantly changing, always searching for solutions that provide improvements at an affordable cost, and one of the possible ways for this to happen is by using Linear Programming as an optimization method due to its ease in solving problems. This paper aims to demonstrate how much the use of Linear Programming can be important in the food industry, for cost reduction, profit maximization, production control, and resource optimization among others. This work's development was based on bibliographical research on the use of this tool as an aid to improvements within the industry, demonstrating the significant results obtained after the insertion of Linear Programming as an optimization method.

Keywords: Linear Programming, Optimization, Industrial process.

RESUMEN

La industria está en constante cambio, siempre buscando soluciones que les proporcionen mejoras a un costo accesible, y una de las maneras posibles para que esto suceda es el uso de la Programación Lineal como método de optimización, debido a su facilidad en la resolución de problemas. Este trabajo tiene como objetivo demostrar cuánto el uso de la Programación Lineal puede ser importante en la industria de alimentos, para la reducción de costos,

maximización de ganancias, control de producción, optimización de recursos entre otros. El desarrollo de este trabajo se dio a partir de investigaciones bibliográficas sobre el uso de esta herramienta como auxilio para las mejoras dentro de una industria, demostrando los resultados significativos obtenidos después de la inserción de la Programación Lineal como método de optimización.

Descriptor: Programación Lineal, Optimización, Procesos industriales.

INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos tem um papel muito importante no crescimento do país, na participação do PIB e geração de empregos. Segundo Associação Brasileira da Indústria de Alimentos – ABIA o faturamento no ano de 2017 foi de 520,7 bilhões de reais que equivalem a 9,8% do PIB brasileiro. Os setores de maior faturamento são os derivados de carne, café, chá, cereais, açúcares, laticínios, óleos, gorduras, entre outros (ABIA, 2018). Em termos mundiais a indústria de alimentos também tem grande importância em diferentes países.

Ainda assim o potencial de crescimento no mercado é limitado, devido a isso as indústrias vem buscando por métodos que possibilitem a melhoria dos processos, serviços e produtos, ou seja, minimizar custos e otimizar a aplicação das suas matérias primas. Deste modo a Pesquisa Operacional tem sido a forma mais apropriada para esta finalidade, por ser considerada uma excelente ferramenta de otimização (SANTOS et al., 2017). Um dos grandes desafios enfrentados pelas indústrias é a competitividade dentro do mercado, que exige constante mudança, forçando a busca por novas estratégias e inovação (ANDRADE et al., 2015). Neste sentido o uso da Programação Linear como ferramenta de otimização, vem sendo um dos pontos fortes onde os recursos são escassos e exige a necessidade de melhoria (SOARES et al., 2015).

O objetivo principal deste trabalho é mostrar como a Programação Linear pode ser uma ferramenta importante na indústria de alimentos, auxiliando nas tomadas de decisões proporcionando melhorias e economia em vários setores da indústria.

REVISÃO DE LITERATURA

Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) como ciência, apresenta-se fundamentada na matemática, na análise de sistemas e na estatística, tem como objetivo estruturar processos, propondo um conjunto de ações alternativas por meio de previsões e comparações de valores de eficiência e de custos (LOESCH e HEIN, 2009). No Brasil, a Pesquisa Operacional iniciou-se na década de 1960 e sua primeira definição foi proposta em 1967. De maneira geral, a Pesquisa Operacional trata-se de um enfoque científico sobre tomada de decisões que faz uso de modelos matemáticos que representem ou imitem o problema real (ARENALES et al., 2015).

Os modelos de Pesquisa Operacional são estruturados de forma lógica e formal, objetivando a otimização dos sistemas representados. Os modelos de programação matemática constituem os princípios da PO, entretanto a palavra “programação”, nesse contexto, tem sentido de planejamento. Os modelos de programação matemática são classificados em função do tipo de equações e variáveis do modelo, como: Programação Linear, Programação Não-linear e Programação Inteira (GOLDBARG e LUNA, 2016).

Essa ferramenta abrange vários campos das ciências, sendo empregada na busca da obtenção do ótimo. O termo otimização refere-se ao estudo de problemas, o qual objetiva minimizar ou maximizar uma função dentro de um conjunto de variáveis viáveis. Otimizar significa empregar técnicas para atingir determinados objetivos, assim com uma empresa que sempre irá procurar utilizar seus recursos

da melhor maneira possível, minimizando custos e maximizando os rendimentos (PASSOS, 2008).

Programação Linear

A Programação Linear é considerada uma das técnicas de maior destaque na Pesquisa Operacional, por ser amplamente usada devido a sua simplicidade na formulação de modelos matemáticos, e resolução de problemas (GAMEIRO, ROCCO & CAIXETA FILHO, 2011).

Os modelos de Programação Linear, segundo Goldbarg e Luna (2005), constituem um caso particular, no qual as variáveis são contínuas e apresentam comportamento linear em relações às restrições e a função objetivo, configurando uma vantagem quanto a eficiência dos algoritmos de solução hoje existentes, permitindo uma fácil implementação.

O sistema de restrições é constituído por m equações e n incógnitas, com $n \geq m$, dessa forma, o sistema é considerado indeterminado por possuir mais incógnitas do que equações, originando mais de uma solução. As restrições simbolizam os limites, o algoritmo procura uma solução ótima no espaço de soluções compatíveis com o problema proposto que cabem no conjunto de restrições.

Como consequência é preciso apenas que se procure uma solução ótima dentre as soluções básicas possíveis e para isso é necessário utilizar um método que inicie com uma solução básica possível e encontre soluções melhores, esse método é conhecido como Método SIMPLEX (ARENALES et al., 2015). Para a resolução desse método emprega-se diversos softwares, como o LINGO, LINDO, SOLVER e o VISUAL XPRESS (ALMEIDA et al., 2013).

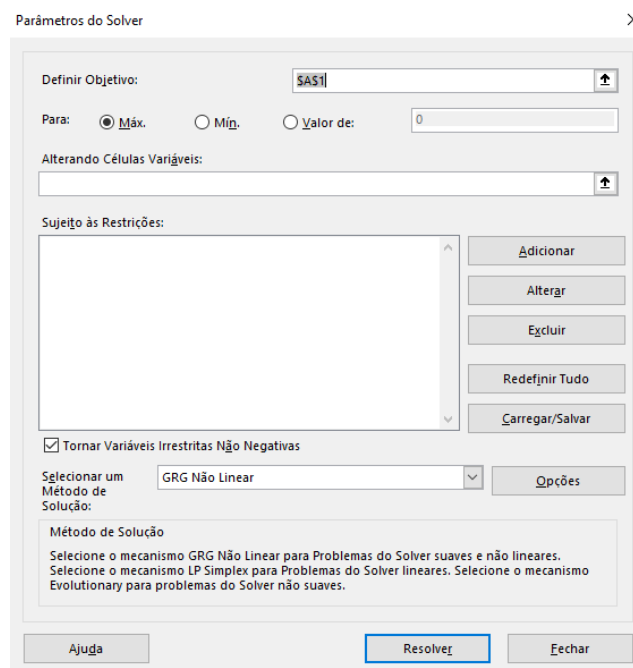
Métodos de Programação Linear Simplex

O Método SIMPLEX é fácil de ser entendido tem foco exclusivo na resolução de problemas externos que venham a existir, formado por uma série de critérios para a escolha de soluções que otimizem a função objetivo (DANTZIG & THAPA, 2006; BAZARAA, 2011; CARVALHO, 2014). Esse método é facilmente implantado em processos automatizados, pois além de rápido e de fácil aplicação, permite uma boa margem de segurança (BORSATO et al., 2010).

Este método conta com o auxílio de Softwares, tais como Solver, Lindo, Lingo e Visual Xpress (ALMEIDA et al., 2013). O Solver é executado a partir do Excel (Figura 1), Ragsdale (2009), descreve o software da seguinte maneira:

[...] O solver converte temporariamente todas as restrições de desigualdade em restrições de igualdade, somando uma nova variável a cada restrição 'menor ou igual a' e subtraindo uma nova variável de cada restrição 'maior ou igual a'. As novas variáveis usadas para criar restrições de igualdade são chamadas variáveis de folga (RAGSDALE, 2009, p.164).

Figura 1. Tela inicial: parâmetros do Solver.

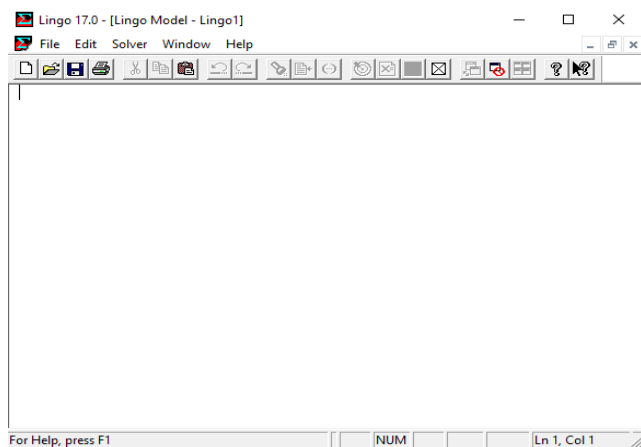


Fonte: do autor, 2018.

Lingo (*Linear Interactive and Discrete Optimizer*) é um produto da LINDO Systems, Inc., e inclui, na forma de subconjunto, a interface LINDO,

configurando uma poderosa linguagem de modelagem genérica (Figura 2). A sua principal característica é a flexibilidade para lidar com uma ampla gama de problemas de Pesquisa Operacional (HILLIER & LIEBERMAN, 2013).

Figura 2. Tela inicial Lingo 17.0.

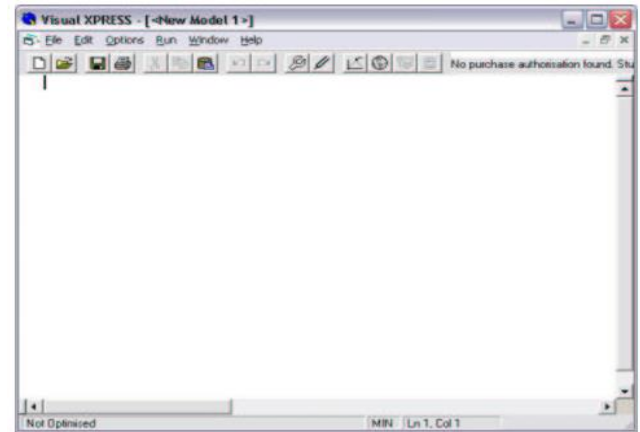


Fonte: do autor, 2018.

Quanto ao Visual XPRESS, JUNIOR & SOUZA (2004), definem como uma poderosa ferramenta de modelagem e otimização (Figura 3).

O Xpress-Optimizer é um software de otimização comercial para programação linear (LP), programação linear inteira mista (MIP), programação quadrática convexa (QP), programação quadrática convexa quadraticamente restrita (QCQP), programação de cones de segunda ordem (SOCP) e suas contrapartes inteiras mistas. O Xpress também inclui um solver não linear de uso geral, o Xpress-NonLinear, que exibe um algoritmo de programação linear sucessiva (SLP, método de primeira ordem), métodos de ponto interior e Artelys Knitro (métodos de segunda ordem) (BELOTTI; BERTHOLD, NEVES, 2016).

Figura 3. Tela inicial Visual XPERSS (versão para o Windows do XPRESS-MP).



Fonte: Junior & Souza, 2004.

Alguns resultados experimentais com conjuntos de dados reais revelam que o XPRESS obtém melhorias expressivas na consulta do desempenho para dados XML compactados e taxas de compactação razoáveis. Em média, o desempenho da consulta do software XPRESS é 2,83 vezes melhor que o de um XML existente e a taxa de compressão do XPRESS é de 73% (MIN, PARK & CHUNG, 2003).

Pontos Interiores

Diferente do Método SIMPLEX, o Método de Pontos Interiores (MPI), publicado em 1984 por Karmarkar, gera pontos interiores, de coordenadas estritamente positivas viáveis, próximos à trajetória central, até que se obtenha uma solução aproximadamente ótima. Possui dois pontos-chave: é necessário um procedimento que determine a direção da busca em cada iteração e uma medida conveniente deste passo. O MPI surgiu como uma classe de algoritmos de complexidade inferior ao do Método SIMPLEX e de fácil aplicação prática (PINTO E MENEZES, 2008; TSUCHIYA & OLIVEIRA, 2017).

Dentre as alterações realizadas no algoritmo original de Karmarkar a mais notável é o procedimento que usa a transformação afim simples, permitindo trabalhar com os problemas de programação linear na forma padrão. Atualmente, os algoritmos afins de

Pontos Interiores são: Primal-Afim, Dual-Afim e Primal-Dual (FANG & PUTHENPURA, 1993).

Aplicação na Indústria de Alimentos

Essa técnica de otimização tem sido bastante difundida pela indústria de alimentos, existem diversos estudos relacionados ao uso da Programação Linear na maximização de lucros, minimização de custos, formulação de dieta alimentar, programação de produção, otimização de recursos dentre outras. Borsato et al. (2010), utilizou o método na simulação da difusão multicomponente durante a desidratação osmótica em maçã, usando SIMPLEX acoplado às funções de desajustabilidade, que se mostrou uma ferramenta eficaz com resultados positivos.

Além disso a Programação Linear pode ser utilizada para identificar melhores opções de transporte rodoviário por tipo de veículo, como Silva Neto & Caixeta Filho (2010) demonstraram em um estudo de caso de um frigorífico que se encontra na cidade de Campo Grande, buscando minimizar os custos de todo o processo de exportação da carne bovina utilizando a Programação Linear. Com todas as informações necessárias o modelo consegue determinar a quantidade e o conjunto de veículos que minimizem os custos totais envolvidos e auxiliam o gestor logístico com uma poderosa ferramenta na tomada de decisão. Roco & Morabito (2012), utilizaram Programação Linear para controle de funcionamento das caldeiras de uma indústria de alimentos, o autor considerou bom os resultados obtidos com a aplicação do modelo, também foram considerados satisfatórios pelos gestores da operação na empresa e com a ausência de protocolos ou ferramentas de otimização para apoiar as decisões no sistema que havia sido estudado, o modelo proposto foi considerado como uma alternativa viável para apoiar algumas das principais decisões no sistema de produção de vapor em caldeiras industriais.

Visando maximizar produção e renda de melão e melancia separadamente, contando com duas restrições, de água e nitrogênio, os autores Delgado et al. (2006), utilizaram o Método de Pontos Interiores para resolver o problema de Programação Linear, para isso utilizaram trajetória central na maximização das funções objetivos integradas a produção e receita agrícola, os autores concluíram que constitui um método confiável que foi capaz de maximizar a produtividade e receita do melão e da melancia resultando em valores confiáveis. Chatavithet et al. (2015), utilizou a programação com objetivo de minimizar custos associados a uma máquina de congelamento por jateamento de ar na indústria de congelados, comprovando a eficiência do MPI, fornecendo soluções rápidas quando o problema é de tamanho pequeno.

Quando o assunto é desenvolvimento de um novo produto, Larrosa et al. (2011), conseguiu produzir uma pasta feita a partir de vegetais para a formulação de uma sopa desidratada, tendo como restrições os teores de carboidratos, lipídeos e proteínas, visando maximizar o valor calórico do produto utilizou a Programação Linear, o método foi considerado adequado para o desenvolvimento do produto, e capaz de maximizar determinada variável, respeitando as restrições impostas.

Pagliarussi et al. (2017), considerou um problema de dimensionamento e programação dos lotes de produção de bebidas não alcoólicas à base de frutas utilizando Programação Linear Inteira Mista, os autores Rong et al. (2011) utilizaram uma abordagem de otimização para gerenciar a qualidade de alimentos frescos na cadeia de suprimentos por meio do modelo de Programação Linear Inteira e Mista usado para o planejamento de produção e distribuição, o qual demonstrou ser eficaz para projetar e operar sistemas de distribuição de alimentos.

CONCLUSÃO

O uso da Programação Linear para modelar problemas da vida real, incluindo a indústria de alimentos, juntamente com os softwares resolvidores destes modelos, são ferramentas facilitadoras que contribuem na otimização dos processos na indústria de alimentos, conforme casos da literatura citados anteriormente.

AGRADECIMENTO

Ao LaCiMP- Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos e aos demais envolvidos.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. J.; MARTINS, G. A. S.; SILVA, W. G. da. Otimização de processos utilizando a programação linear. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1641-1653, 2013.

ANDRADE, E. L. D. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 5 ed., Rio de Janeiro, LTC, 2015.

ARENALES, M., MORABITO, R., ARMENTANO, V. & YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. 2 ed., Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS. 2018. **Número de Setor-Faturamento**. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2017.pdf>>. Acesso em: 27 de set. de 2018.

BAZARAA, M. S., JARVIS, J. J., & SHERALI, H. D. **Linear programming and network flows**. 4 ed., Nova Jersey, John Wiley & Sons, 2011.

BELLOTI, P., BERTHOLD, T., & NEVES, K. (Algorithms for discrete nonlinear optimization in FICO Xpress. In: Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), 2016 IEEE. **IEEE**, 2016. p. 1-5.

BORSATO, D., MOREIRA, I., SILVA, R. S. dos S. F. da, BONA, E., NÓBREGA, M. M., PINA, M. V. R., & MOREIRA, M. B. Simulação da difusão

multicomponente durante a desidratação osmótica em maçã: determinação dos coeficientes de difusão pelo método simplex. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 2, p. 391-404, 2010.

CARVALHO, J. M. S. **Programação linear: algoritmos simplex primal, duo, transporte e afetação**. 1 ed., Porto, Vida Económica Editorial, 2014.

CHATAVITHEE, P., KULLAPAPRUK, P. & SUPACHAI, P. Scheduling a single machine with concurrent jobs for the frozen food industry. **Computers & Industrial Engineering**, v. 90, p. 158-166, 2015.

DANTZIG, G. B., & THAPA, M. N. **Linear programming 2: theory and extensions**. Springer Science & Business Media, 2006.

DELGADO, A. R. S., DUARTE, W. S., LIMA, V. N., & CARVALHO, D. F. D. Modelagem matemática para otimização da produção e renda de melão e melancia em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. **Irriga**, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2010.

FANG, S. C.; PUTHENPURA, S. **Affine Scaling Algorithms**. In: HALL, P. (Ed.). **Linear Optimization and Extensions: Theory and Algorithms**. New Jersey, Englewood Cliffs, 1993.

GAMEIRO, A. H., ROCCO, C. D., & CAIXETA-FILHO, J. V. Modelo matemático para otimização e avaliação de unidade produtora de leite caracterizada pela integração lavoura-pecuária: consideração de parâmetros econômicos, logísticos e ambientais. In CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 49, Belo Horizonte, **Anais**, SOBER, 2011.

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P. L. **Programação linear fluxos em redes**. 1 ed., Rio de Janeiro, Elsevier, 2016.

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. 2 ed., Rio de Janeiro, Elsevier, 2005.

HILLIER, S. F. & LIEBERMAN, J. G. **Introdução a pesquisa operacional**. 9 ed., Porto Alegre, AMGH Editora Ltda, 2013.

JUNIOR, A. C. G., SOUZA, M. J. F. **Softwares de otimização: manual de referência**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 72 p.

LARROSA, A. P. Q., MUSZINSKI, P., & PINTO, L. A. D. A. Programação linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leite de jorro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 2032-2038, 2011.

- LOESCH, C. & HEIN, N. **Pesquisa Operacional**. 1 ed., Editora Saraiva, São Paulo, Saraiva, 2009.
- MIN, J. K., PARK, M. J., & CHUNG, C. W. XPRESS: A queriable compression for XML data. In: Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD international conference on Management of data. **ACM**, 2003. p. 122-133.
- PAGLIARUSSI, M. S., MORABITO, R. & SANTOS, M. O. Otimização da programação da produção de bebidas à base de frutas por meio de modelos de programação inteira mista. **Gest. Prod.**, v. 24, n. 1, p. 64-77, 2017.
- PASSOS, E. J. P. F. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional**. 1 ed., São Paulo, Atlas, 2008.
- PINTO, L. L. & MENEZES, M. A. F. Implementação de algoritmos simplex e pontos interiores para programação linear. **Estudos**, v. 35, n. 2, p. 225-246, 2008.
- RAGSDALE, C. T. **Modelagem e Análise de Decisão**. 6. ed., São Paulo, Cengage Learning, 2009.
- ROCCO, C. D., & MORABITO, R. Um modelo de otimização para as operações de produção de vapor em caldeiras industriais. **Gest. Prod.**, v. 19, n. 2, p. 273-286, 2012.
- RONG, A., AKKERMAN, R. & GRUNOW M. An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*. **Estudos**. v. 131, n. 1, p. 421-429, 2011.
- SANTOS, M. D., SAMPAIO, R., MARTINS, E., & WALKER, R. (2017). Aplicação da Programação Linear na formulação de uma dieta de custo mínimo: estudo de caso de uma empresa de refeições coletivas no Estado do Rio de Janeiro. In Encontro Mineiro de Engenharia de Produção, 13, Juiz de Fora, **Anais**, EMEPRO, 2017.
- SILVA NETO, W. A., & CAIXETA FILHO, J. V. Logística da exportação de carne bovina: uma aplicação em programação linear. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 7, n. 3, p. 59-77, 2010.
- SOARES, C. M. S.; ALVES, D. G. Otimização de uma formulação alimentícia utilizando programação linear visando diminuição de custo. In Seminário de Iniciação Científica da UFT, 10, Palmas, **Anais**, 2015.
- TSUCHIYA, L. Y. & OLIVEIRA, A. R. L. Sistemas Lineares Aproximados Derivados de Problemas de Fluxo Multiproduto em Métodos de Pontos Interiores. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional. **São Carlos**. v. 18, n. 1, p. 139-153, 2017.