



PRICILA ARAUJO SANTANA

**ANÁLISE ECONÔMICA DA SECAGEM DE GRÃOS COM BAIXAS E
COM ALTAS TEMPERATURAS**

**Sete Lagoas - MG
2019**

PRICILA ARAUJO SANTANA

**ANÁLISE ECONÔMICA DA SECAGEM DE GRÃOS COM BAIXAS E
COM ALTAS TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof^a. Dra. Daniela de Carvalho Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S231a Santana, Pricila.
Análise Econômica da Secagem de Grãos com Baixas e
com Altas Temperaturas / Pricila Santana ;
orientadora Daniela de Carvalho Lopes; coorientador
Antonio José Steidle Neto. -- Sete Lagoas, 2019.
51 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
João del-Rei, 2019.

1. Viabilidade Econômica. 2. Secagem de Grãos . 3.
Pós-Colheita. 4. Biomassa. 5. Sistemas de Secagem. I.
de Carvalho Lopes, Daniela, orient. II. José Steidle
Neto, Antonio, co-orient. III. Título.

PRICILA ARAUJO SANTANA

**ANÁLISE ECONÔMICA DA SECAGEM DE GRÃOS COM BAIXAS E
COM ALTAS TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof^ª. Dra. Daniela de Carvalho Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto

Sete Lagoas, 22 de fevereiro de 2019.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Helvécio Martins - Instituto de Educação Tecnológica/Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Rafael Pinheiro Amantéa - Instituto de Educação Tecnológica/Universidade Federal de Campina Grande

Prof^ª. Dra. Daniela de Carvalho Lopes

Orientadora

EPÍGRAFE

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser, mas Graças à Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

DEDICATÓRIA

À Deus.

Aos meus pais, Edmar e Elizete.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me abençoado e me dado forças, não apenas nesta caminhada, mas em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Edmar e Elizete, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos.

À Prof^a. Dra. Daniela de Carvalho Lopes e ao Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto, pela orientação impecável, apoio, confiança, dedicação e por todo o conhecimento compartilhado.

À Universidade Federal de São João del-Rei, pela oportunidade de cursar o mestrado e pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelo ensino de qualidade oferecido pelos mais competentes profissionais.

À banca examinadora, pela disponibilidade em participar deste momento e pelas contribuições para melhoria deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha caminhada o meu: Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Principais grãos produzidos no Brasil.....	4
2.2. Secagem de grãos.....	6
2.3. Fornalhas e combustíveis.....	8
2.4. Análise econômica aplicada a processos agrícolas.....	9
ARTIGO 1 – Análise econômica da secagem de grãos com baixas temperaturas no Brasil....	12
RESUMO.....	12
1. Introdução.....	13
2. Material e métodos.....	15
2.1. Etapas e variáveis consideradas no estudo.....	15
2.2. Obtenção de dados técnicos e econômicos.....	15
2.3. Análise da viabilidade econômica.....	20
3. Resultados e discussão.....	22
4. Conclusões.....	27
ARTIGO 2 – Análise econômica da secagem de grãos com altas temperaturas no Brasil.....	28
RESUMO.....	28
1. Introdução.....	29
2. Material e métodos.....	31
2.1. Dados técnicos e econômicos para as simulações.....	31
2.2. Análise econômica.....	37
3. Resultados e discussão.....	39
4. Conclusões.....	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
6. REFERÊNCIAS.....	47

ANÁLISE ECONÔMICA DA SECAGEM DE GRÃOS COM BAIXAS E COM ALTAS TEMPERATURAS

RESUMO - A secagem de grãos é uma das etapas mais importantes da pós-colheita de produtos agrícolas, pois contribui para a manutenção da qualidade dos grãos, além de permitir que estes sejam armazenados de maneira segura por maiores períodos de tempo. Além da avaliação da viabilidade técnica, é importante que projetos como a implantação de sistemas de secagem também sejam avaliados economicamente. A realização de uma análise econômica criteriosa de um projeto é de suma importância, pois previne tomada de decisões que podem causar o fracasso do investimento. Um dos métodos usados para esta análise é o modelo de fluxo de caixa, que é frequentemente avaliado por meio de índices econômicos, dentre os quais os mais utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), a Relação Benefício-Custo (RBC), o Tempo de Retorno do Capital (TRC). Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem com baixas e com altas temperaturas, considerando sete tipos de grãos, três níveis de produção e dois combustíveis usados nas fornalhas. Para cada sistema, 42 cenários foram analisados e todas as variáveis foram combinadas e, posteriormente, avaliadas separadamente e comparadas entre si utilizando o modelo de fluxo de caixa durante um horizonte de planejamento de 20 anos. Os fatores que mais influenciaram na viabilidade econômica da secagem foram o tipo de grão e volume de produto a ser seco. Grãos com maior valor de mercado e sistemas com maior capacidade de secagem foram mais rentáveis ao final do horizonte de planejamento. O tipo de combustível usado na fornalha para a secagem dos grãos não interferiu de maneira considerável nos índices econômicos avaliados.

Palavras-chave: biomassa, combustíveis renováveis, sistemas de secagem, viabilidade econômica, pós-colheita.

ANÁLISE ECONÔMICA DA SECAGEM DE GRÃOS COM BAIXAS E COM ALTAS TEMPERATURAS

ABSTRACT - The grain drying is one of the most important stages of the postharvest of agricultural products, since it contributes to their quality maintenance and safe storage for longer periods. In addition to the evaluation of technical feasibility, it is important that projects such as the deployment of drying systems be economically evaluated. A detailed economic analysis is essential and prevents decision-makings that could cause investment failures. One of the methods for this analysis is the cash flow model, which is frequently evaluated by economic indices, amongst which the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), benefit-cost ratio (BCR) and payback period (PBP) are the most applied. Thus, the present work aimed at evaluating the economic feasibility of low and high-temperature grain drying systems in Brazil considering three production levels, seven crops and two furnace fuels. For each system, 42 scenarios were analyzed and all the variables were combined and compared among themselves by using the cash flow model for a project lifetime of 20 years. The grain type and dryer capacity were the factors that most affect the economic feasibility. Grain with high market values and large dryer capacities were more profitable at the end of the lifetime of project. The furnace fuel did not influence considerably the evaluated economic indices.

Keywords: biomass, renewable fuels, drying systems, economic feasibility, postharvest

1. INTRODUÇÃO

Segundo Gaban et al. (2017), nos últimos anos o agronegócio assumiu grande importância para o crescimento e desenvolvimento do Brasil, sendo responsável por manter positivo o saldo da balança comercial. A produção de grãos é o segmento que mais se destaca no setor agrícola, não só no Brasil, mas em todo mundo, com liderança da soja, milho e café. A produção brasileira de grãos está estimada em 229,53 milhões de toneladas, para a safra 2017/18, sendo os estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, responsáveis por quase 70% da safra nacional (CONAB, 2018).

O processo de secagem de grãos consiste na retirada da sua água até um nível que permita o seu armazenamento seguro por maiores períodos de tempo. Esse processo ocorre por meio de transferências simultâneas de calor e massa, quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido aos grãos (Chen, 2000). A secagem permite que os produtos agrícolas sejam colhidos logo depois da maturação fisiológica, com teor de água elevado, a fim de minimizar as perdas ocasionadas no campo por causa de doenças, infestação por insetos e desenvolvimento de microrganismos. Sendo assim, a secagem de grãos é o processo mais utilizado para manter a qualidade dos grãos, já que a redução do teor de água do produto reduz a sua atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que podem ocorrer durante o armazenamento (Araújo et al., 2014).

Existem diversos tipos de sistemas de secagem, sendo os mais utilizados aqueles com ventilação artificial forçada, tanto com baixas quanto com altas temperaturas do ar. A secagem com baixas temperaturas é considerada aquela executada com ar natural ou levemente aquecido (1 a 10°C acima da temperatura ambiente) (Biagi; Bertol, 2002). Este processo tende a ser lento, devido ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural, além da diferença entre o teor de água do produto e o teor de água considerado adequado para o armazenamento seguro. No entanto, evita danos térmicos e minimiza os danos mecânicos nos grãos. Na secagem com altas temperaturas, as temperaturas variam entre 40 e 300°C, propiciando um processo mais rápido e menos dependente das condições climáticas locais (Brooker et al., 1992). O uso desse tipo de secador ainda é restrito a áreas de maior desenvolvimento agrícola, devido ao alto investimento inicial necessário para a implantação desse sistema, além da manutenção e custo de combustíveis.

No Brasil, a lenha é o combustível mais utilizado nas fornalhas para fornecer ar quente para secagem de grãos. Porém, a combustão desse material, geralmente, é incompleta, não liberando toda a energia química disponível, além de emitir monóxido de carbono, particulados e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), que comprometem a qualidade dos grãos (Klautau, 2008). Diante disso, é importante ressaltar a possibilidade de utilização de outras fontes alternativas de biomassa para secagem, como sabugo de milho, casca de arroz, palha/casca de café e demais resíduos agrícolas (Afonso Júnior et al., 2006).

De acordo com Sater et al. (2011), o grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira e pela agricultura é, ao mesmo tempo, uma oportunidade e um desafio em, praticamente, todas as regiões do Brasil. Os resíduos agrícolas são materiais resultantes da colheita das culturas e produções agrícolas. Porém, a sua retirada da área de cultivo deve ser feita de forma racional, já que estes resíduos exercem uma função importante, contribuindo para a proteção do solo, retenção de umidade, protegendo a biota, evitando a erosão e restaurando os nutrientes que foram extraídos pela planta (EPE, 2014).

Além dos fatores técnicos, a viabilidade econômica da secagem é muito importante. Segundo Marquezan (2006), a principal razão que leva as pessoas a realizarem investimentos é a busca pelo retorno lucrativo. Mas, para que haja lucro, é necessário que o retorno financeiro do investimento seja superior ao capital empregado nele. Esse conceito pode ser aplicado também à secagem de grãos. Para isso, faz-se necessária a realização de uma análise econômica criteriosa, a fim de considerar todos os riscos econômicos envolvidos nesse processo, buscando estratégias que minimizem a ocorrência de fracassos no investimento.

Diversos autores já avaliaram, por meio de simulações econômicas, a viabilidade da secagem, considerando isoladamente diferentes tipos de grãos, secadores e capacidades de secagem (Ribeiro; Biaggioni, 2006, Lawrence et al., 2015, Mugabi; Driscroll, 2016). Renato et al. (2002), avaliaram o consumo de energia durante a secagem de café usando a lenha e o gás liquefeito de petróleo (GLP) como combustíveis, concluindo que o consumo de combustível está diretamente relacionado ao seu manejo durante a secagem. Ribeiro e Biaggioni (2006), estudaram a viabilidade do uso de secagem combinada para a cultura do milho. Seus resultados mostraram a viabilidade do uso deste sistema, devido ao seu menor custo operacional e melhor eficiência energética, quando comparado à secagem convencional com alta temperatura.

Apesar dos estudos supracitados, ainda se faz necessária a realização de uma análise que permita a avaliação, de forma conjunta, de todos os parâmetros técnicos envolvidos no processo. Para isso, é importante considerar os diferentes sistemas de secagem e volume de produto úmido, bem como a influência do combustível e do tipo de grãos a ser seco, para que seja possível estimar mais precisamente os custos e as receitas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Principais grãos produzidos no Brasil

A agricultura é um dos setores da economia que apresenta significativa participação no mercado, assumindo nos últimos anos grande importância para o crescimento e desenvolvimento do país. Os grãos representam um importante papel socioeconômico para o país, pois movimentam uma série de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos, gerando emprego e renda para milhões de pessoas. (Gaban et al., 2017). Além do seu papel socioeconômico, os grãos são uma importante fonte de nutrientes para alimentação humana, como carboidratos, fibras, vitaminas e minerais.

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma espécie originária da América do Sul e destacada como uma das principais culturas do Brasil (CONAB, 2018). Seus grãos são ricos em óleo, proteínas e vitaminas, sendo fonte importante de aminoácidos e energia para a alimentação humana (Macêdo, 2007). No Brasil, o amendoim é produzido principalmente no estado de São Paulo, responsável por mais de 90% da produção (Sampaio, 2018). Essa plantação ocorre principalmente durante a entressafra da cultura da cana-de-açúcar, já que o amendoim atua na recuperação do solo por meio da fixação de nitrogênio.

O arroz é um cereal da família das gramíneas, do gênero *Oryza*, nativa do sudeste da Ásia, sendo a espécie mais cultivada a *Oryza sativa* (Juliano, 1993). Segundo CONAB (2018) a produção brasileira de arroz está estimada em 11,38 milhões de toneladas, sendo 1,19 milhão de toneladas oriundas de cultivo em sequeiro e 10,20 advindas de áreas com plantio irrigado. É um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, sendo caracterizado como o principal alimento de mais da metade da população mundial. Por isso, é considerado um dos produtos de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento, desempenhando um papel importante não só econômico, mas também social (USDA, 2009).

O café (*Coffea* sp.) é uma planta originária da Etiópia, centro da África, e foi introduzido no Brasil por volta do ano de 1727 (ABIC, 2018). A cafeicultura foi o empreendimento pioneiro na formação econômica de diversas regiões do país, por isso é considerada uma atividade de grande importância socioeconômica no desenvolvimento do Brasil (Reis et al., 2005). Segundo dados disponíveis em CONAB (2018), a produção brasileira de café está concentrada nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia, responsáveis por mais de 90% da produção total. Já no contexto da produção mundial,

o Brasil encontra-se em primeiro lugar no ranking de países produtores de café, sendo responsável por cerca de 36% do total produzido (ICO, 2018).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta cultivada a milhares de anos, porém sua origem ainda é uma fonte de divergência entre pesquisadores. O feijão é uma das bases da alimentação dos brasileiros, constituindo uma importante fonte de proteína, ferro e carboidratos. É também, um dos produtos agrícolas de maior importância socioeconômica do país, em função da grande mão-de-obra empregada durante o seu cultivo (Vieira, 2006). O Brasil destaca-se como maior produtor mundial de feijão e também um dos maiores consumidores, tendo um consumo médio per capita de 17 kg/ano. Segundo CONAB (2018), a produção nacional estimada para a safra 2017/2018 é de 3,39 milhões de toneladas, sendo Paraná, Minas Gerais, Bahia, Goiás, São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso os estados que lideram o cultivo dessa leguminosa (Tosto et al., 2012).

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea originária na América Central e cultivada em grande parte do mundo. Atualmente o Brasil é o 3º maior produtor de milho do mundo, sendo a sua produção distribuída em praticamente todo território nacional, com destaque para os estados do Mato Grosso, Goiás, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (CONAB, 2018b). A importância dessa cultura no Brasil é ampla, porque sua produção ocorre tanto em pequenas propriedades, cuja finalidade é a subsistência, quanto em grandes extensões de terras para abastecer o mercado. Além disso, suas características nutricionais permitem a sua utilização de várias formas, tanto na alimentação animal quanto na indústria de alta tecnologia (Pavão; Ferreira Filho, 2011).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta pertencente à família das leguminosas que tem como centro de origem e domesticação o nordeste da Ásia (China e regiões adjacentes) (Chung; Singh, 2008). A produção desse grão está entre as atividades econômicas que apresentam crescimentos mais expressivos nas últimas décadas. Segundo Silva et al. (2011), a cultura da soja representa o papel da oleaginosa mais produzida e consumida no mundo, isso se dá pela sua importância tanto para o consumo humano, através do óleo, quanto para a nutrição animal, através do farelo. Além disso, apresenta uma expressiva importância socioeconômica, pois movimenta um amplo número de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores da economia (Hirakuri; Lazzarotto, 2014). No Brasil, os estados do Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul

são os maiores produtores de soja do país, sendo responsáveis por mais de 70% da safra nacional (CONAB, 2018).

O trigo (*Triticuma estivum* L.) é um cereal originário do Oriente Médio (Flandrin; Montanari, 1998) e atualmente é um dos cereais mais cultivados no mundo. O trigo é o segundo cereal mais consumido no Brasil, sendo usado principalmente para a fabricação de pães e massas. Além disso, o subproduto da sua moagem constitui-se um importante alimento usado na nutrição animal. Devido ao seu aprimoramento genético, o trigo possui ampla adaptação edafoclimática, podendo ser cultivado desde a Região Sul até a região de cerrado no Centro-Oeste do país. A produção de trigo concentra-se principalmente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, que juntos somam 87% da produção nacional (CONAB, 2018).

2.2 Secagem de grãos

A secagem é o processo mais econômico para manutenção da qualidade de grãos agrícolas durante a armazenagem em ambiente natural (Sobrinho, 2001). O processo de secagem é uma das etapas de pré-processamento de produtos agrícolas que tem como objetivo a remoção de parte da água contida neles, sendo responsável por grande parte do custo de produção.

A secagem é um processo simultâneo de transferência de calor e de massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da umidade deve ser feita de modo que o produto fique em equilíbrio com o ar ambiente onde será armazenado e deve ser conduzida a fim de preservar as características físicas, fisiológicas e nutritivas dos grãos, e proporcionar o armazenamento seguro dos mesmos (Silva et al., 2009; Brooker et al., 1992).

O uso adequado da secagem de grãos visa reduzir a perda do produto no campo, antecipar o momento da colheita (disponibilizando áreas para novos cultivos), permitir o armazenamento por períodos mais longos, reduzir a deterioração do produto e impedir a proliferação de microrganismos e insetos (Muir, 2000), além de propiciar ao produtor a possibilidade de obter maior lucratividade pela venda do produto em épocas de entressafra. Já a secagem inadequada, bem como atrasos e/ou demora no processo, podem causar perdas irreversíveis na qualidade física e fisiológica dos grãos (Torres, 2006), gerando prejuízos financeiros.

Didaticamente, os sistemas de secagem de grãos podem ser classificados como secagem natural ou artificial, sendo esta última a mais eficiente e segura. A secagem natural é caracterizada pela não interferência humana. Já a secagem artificial é caracterizada pela utilização de processos manuais ou mecânicos tanto no manejo do produto quanto na passagem do ar através da massa de grãos e pode ser feita por meio da convecção, ventilação natural ou ventilação forçada (Silva et al., 2009).

Dentre os sistemas de secagem artificial, merecem destaque as secagens com ventilação forçada, tanto com baixas quanto com altas temperaturas. A secagem com baixas temperaturas é considerada aquela executada com ar natural ou levemente aquecido (1 a 10°C acima da temperatura ambiente) (Biagi; Bertol, 2002). Este tipo de secagem é um processo lento, devido ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural (Villela, 1991), além da diferença entre o teor de água do produto e o teor de água seguro.

A secagem com altas temperaturas baseia-se na propriedade pela qual aumentando-se a temperatura do ar úmido, a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver umidade aumenta. Geralmente, o ar é forçado a circular através do secador por meio de um ventilador. Depois de permanecer em contato com o produto, o ar sai do secador com uma temperatura menor e uma umidade relativa mais elevada (Freire, 1998; Sampaio, 2004).

Nos sistemas de secagem com alta temperatura (Silva, 2009 e Biagi; Bertol, 2002), os secadores podem ser classificados de acordo com o tipo de operação (contínuos ou intermitentes), e com a relação entre os movimentos de produto e do ar de secagem (leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxos mistos). Existem ainda os secadores rotativos e os de leito fluidizado. Nos secadores contínuos, a massa de grãos é submetida a uma corrente de ar que flui constantemente através do secador até que o teor de umidade atinja o valor desejado. Já nos secadores intermitentes a massa de grãos passa pelo interior do secador várias vezes até a completa secagem. O grão sofre ação do calor durante pequenos intervalos de tempo, intercalados por períodos de repouso (Brooker et al., 1992).

Nos secadores de leito fixo um fluxo de ar é forçado através da massa de grãos que permanece estática. A secagem ocorre em camadas (frente de secagem) e se processa da base para o topo da massa de grãos em secadores de fundo perfurado, e do centro para a periferia em secadores de tubo central perfurado. Já nos secadores de fluxos cruzados o produto úmido

é colocado na parte superior e por gravidade desce pelo secador, onde é seco por meio de um fluxo de ar perpendicular ao fluxo de grãos. Depois de atingir a umidade desejada os grãos são resfriados e descarregados na parte inferior do secador. Nos secadores de fluxos contracorrentes, o fluxo de ar atravessa a camada de grãos em sentido contrário ao do fluxo de grãos. À medida que a massa de grãos vai descendo, a sua temperatura é aumentada, atingindo valores muito próximos aos da temperatura do ar de secagem (Bakker-Arkema et al., 1980). Nos secadores de fluxos concorrentes, o ar aquecido encontra o grão frio e úmido e fluem ambos na mesma direção e sentido, através da câmara de secagem (Hawket al., 1978). Já nos secadores de fluxos mistos, o grão é seco pela mistura de fluxos cruzados, concorrentes e contracorrentes. No Brasil estes secadores são conhecidos como tipo cascata ou de cavaletes, e são amplamente utilizados em unidades armazenadoras de grande porte, em virtude da sua capacidade de secagem.

2.3 Fornalhas e combustíveis

Fornalhas são os locais em que se dá a queima do combustível para a geração do calor necessário ao processo de secagem, sendo projetadas para assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, em condições que permitam o aproveitamento da energia térmica liberada da combustão, com maior rendimento térmico possível (Lopes, 2002). Sendo assim, o conhecimento do princípio de funcionamento de fornalhas e a operação adequada destas são condições imprescindíveis para o uso racional da energia na secagem de produtos agrícolas.

Na secagem de grãos é possível utilizar diversos tipos de combustíveis, dependendo das características da fornalha. Os combustíveis são substâncias ricas em carbono e hidrogênio que, em condições adequadas de temperatura e pressão e, na presença de oxigênio, liberam dióxido de carbono, água e energia sob a forma de calor (Sobrinho, 2001). Segundo Andrade et al. (1984) a característica mais importante dos combustíveis é o poder calorífico. O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia, em forma de calor, liberada na combustão completa de uma unidade de massa ou em volume de determinado combustível. Esta propriedade não depende das condições que o combustível é queimado, considerando-se a sua combustão completa.

Segundo Cortez et al. (2008), a lenha é o combustível mais utilizado como fonte geradora de calor para a secagem de produtos agrícolas nas unidades armazenadoras no

Brasil, devido ao seu baixo custo em relação a outros combustíveis. Porém, o seu uso apresenta desvantagens, como a combustão descontínua e irregular, a formação de fuligem e substâncias tóxicas, além de demandar grandes áreas para o cultivo de florestas (EMBRAPA, 2009).

Além da lenha, outros combustíveis também podem ser usados nas fornalhas para a secagem de grãos, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e o carvão vegetal. O GLP é caracterizado por sua grande aplicabilidade como combustível, devido à facilidade de armazenamento e transporte a partir do seu engarrafamento. Em termos qualitativos, a principal vantagem do seu uso na secagem de grãos é a queima limpa, uma vez que não deixa odores e nem resíduos nos grãos, resultando na maior qualidade dos mesmos (Portella; Martins, 2000, Lopes et al., 2001).

O carvão vegetal é um combustível derivado da pirólise da madeira, o que o torna propício à utilização na secagem de produtos agrícolas já que grande parte dos compostos fenólicos já foram eliminados durante o processo de carbonização (Silva et al., 2009). Segundo Silva (2001), o uso deste combustível na secagem de produtos agrícolas não é comum. Acredita-se que as principais razões para este fato se devam ao processo usualmente adotado na produção do carvão que, além de primitivo, demanda tempo e mão-de-obra.

Diante disso, Lopes et al. (2001) afirmam que, se os resíduos agrícolas provenientes de lavouras comerciais fossem utilizados como fontes de energia para a secagem, seriam mais do que suficientes para a secagem dos produtos que lhes deram origem, apresentando baixo custo e menos impactos ambientais do que a lenha. Balloniet al. (1980), apontam que as principais vantagens do uso da biomassa são a grande quantidade e disponibilidade para uso imediato, além de poder ser encontrada desde ambientes rurais à ambientes urbanos. Os principais tipos de biomassa que podem ser usados para esta finalidade são as palhas, cascas, sabugos, bagaços e resíduos florestais.

2.4 Análise econômica aplicada a processos agrícolas

Além da avaliação da viabilidade técnica, é importante que projetos como a implantação de sistemas de secagem também sejam avaliados economicamente. A realização de uma análise econômica criteriosa de um projeto é de suma importância, pois previne tomadas de decisões que podem causar o fracasso do investimento. Fatores como custo do capital, custos operacionais e de equipamentos, rentabilidade, oportunidades, volumes

operados, taxas de risco e de atratividade são pontos indispensáveis para uma boa avaliação, que visa minimizar incertezas e aumentar as chances de sucesso e longevidade do projeto (Braga, 1995; Brom, 2007; Marquezan, 2006).

Segundo Salim (2004), o fluxo de caixa é um instrumento que busca retratar todas as contribuições monetárias (receitas e despesas) durante o horizonte de planejamento estabelecido para o investimento. O resultado fornecido pelo fluxo de caixa representa o saldo disponível em caixa a cada dia, semana, mês ou ano.

O fluxo de caixa é frequentemente avaliado por meio de índices econômicos, dentre os quais os mais utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), a Relação Benefício-Custo (RBC), o Tempo de Retorno do Capital (TRC).

O VPL corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, ou seja, é a soma das despesas e receitas de um investimento, referido ao instante inicial (Gitman, 2004). A implantação do sistema de secagem só será viável caso o VPL seja superior a zero (Marquezan, 2006).

A RBC é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontadas pela taxa de juros adotada. Sendo assim, para que seja viável a implantação do sistema de secagem, é necessária uma RBC superior a um (Lopes, 2002).

A TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa pela qual a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos (Kassaiet al., 2000). Desta forma, a implantação do sistema será viável se o valor da TIR for menor que a taxa de juros considerada (Pinto et al., 2006).

O TRC é o tempo necessário para que o valor investido na implantação do sistema de secagem seja recuperado (Penedo, 2005). Neste caso, o investimento será viável se o tempo de retorno do capital for menor que o horizonte de planejamento (Lopes, 2002).

Alguns autores já avaliaram por meio de simulações, a viabilidade econômica da secagem para diferentes grãos e tipos de secadores (Jasperet al., 2006, Ribeiro; Biaggioni, 2006, Renato et al., 2002). No entanto, existe a necessidade de uma análise conjunta, que possibilite uma avaliação mais completa considerando todos os parâmetros técnicos envolvidos no processo. Esta análise deve, portanto, incluir diferentes sistemas de secagem e

volume de produto úmido, assim como a influência do tipo de grão e do combustível na secagem e, conseqüentemente, nos seus custos e receitas.

ARTIGO 1

Artigo submetido ao periódico Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics

Análise econômica da secagem de grãos com baixas temperaturas no Brasil

Pricila Araújo Santana, Daniela de Carvalho Lopes, Antonio José Steidle Neto

Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, Rodovia MG 424, km 47,
Sete Lagoas, 35701-970, Minas Gerais, Brasil

Resumo

No presente trabalho foi avaliada a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem de grãos com baixas temperaturas, considerando três níveis de produção, sete tipos de grãos e dois tipos de combustíveis para fornalha. Foram simulados 42 cenários, obtidos por meio da combinação de todas as variáveis, que foram avaliados separadamente e comparados entre si por meio de análise econômica baseada no modelo de fluxo de caixa para um horizonte de planejamento de 20 anos. Durante as análises, foram empregados os índices econômicos: valor presente líquido, tempo de retorno de capital, relação benefício-custo e taxa interna de retorno. Todos os cenários simulados mostraram-se viáveis economicamente, desde que operado pelo menos dois ciclos de secagem por ano. As culturas que mais se destacaram, apresentando os maiores índices de VPL, RBC e TIR, foram o café e o feijão nos sistemas com média (134,7 m³) e alta (392,7 m³) capacidade de secagem independente do combustível usado. Os menores índices econômicos foram observados para o milho em sistemas de secagem com baixa capacidade (10,6 m³). O tipo de combustível usado na secagem dos grãos foi a variável que menos interferiu nos índices econômicos avaliados.

Palavras-chave: combustíveis renováveis, sistemas de secagem, viabilidade econômica, pós-colheita.

1. Introdução

O processo de secagem de grãos consiste na retirada de água até um nível que permita o armazenamento seguro por maiores períodos. Esse processo ocorre por meio de transferências simultâneas de calor e massa, quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido aos grãos (Chen, 2000, Sharon et al., 2016). A secagem permite que os produtos agrícolas sejam colhidos logo depois da maturação fisiológica, com teor de água elevado, a fim de minimizar as perdas ocasionadas no campo causadas por doenças, infestação por insetos e proliferação de microrganismos. Sendo assim, a secagem de grãos é o processo mais utilizado para manter a qualidade do produto armazenado, já que a redução no teor de água do produto reduz a sua atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que podem ocorrer durante o armazenamento (Pirasteh et al., 2014).

Existem diversos tipos de sistemas de secagem, sendo os mais utilizados aqueles com ventilação artificial forçada, tanto com baixas quanto com altas temperaturas do ar. A secagem com baixas temperaturas é considerada aquela executada com ar natural ou levemente aquecido (1 a 10°C acima da temperatura ambiente) (Jones et al., 2012, Singh et al., 2014). Este processo tende a ser lento, devido ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos quando comparado aos sistemas de secagem com altas temperaturas. Outro fator que influencia o tempo para realização do processo é a dependência da capacidade de secagem das condições do ar em estado natural, além da diferença entre o teor de água inicial do produto e o teor de água final considerado adequado (Sharon et al., 2016). No entanto, a secagem com baixas temperaturas tem sido amplamente usada por produtores de sementes e algumas indústrias alimentícias, devido à melhor qualidade final do produto. Com a perda lenta de água, o grão não sofre choques térmicos, reduzindo a ocorrência de tensões internas, que poderiam comprometer sua qualidade. Além disso, nestes sistemas, o produto é submetido a menor movimentação, reduzindo danos mecânicos.

Segundo Cortez et al. (2008), a lenha é o combustível mais utilizado como fonte geradora de calor em fornalhas para a secagem de produtos agrícolas nas unidades armazenadoras no Brasil, devido ao seu baixo custo em relação a outros combustíveis. Porém, o seu uso apresenta desvantagens, como a combustão descontínua e irregular, a formação de fuligem e substâncias tóxicas, além de demandar grandes áreas para o cultivo de florestas (EMBRAPA, 2009, Lima et al., 2017).

Tsai et al. (2012) e Lim et al. (2012) afirmam que, se os resíduos agrícolas provenientes de lavouras comerciais fossem utilizados como fontes de energia para a secagem, seriam mais do que suficientes para a secagem dos produtos que lhes deram origem, apresentando baixo custo e causando menores impactos ambientais do que a lenha. Singh (2016) relata que as principais vantagens do uso da biomassa são a grande quantidade e disponibilidade para uso imediato, além de poder ser encontrada em ambientes rurais quanto em ambientes urbanos. Os principais tipos de biomassa que podem ser usados para esta finalidade são as palhas, cascas, sabugos, bagaços e resíduos florestais.

A produção brasileira de grãos está estimada em cerca de 229 milhões de toneladas para a safra 2017/18, sendo o amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo os principais responsáveis por estes números (CONAB, 2018). Estas culturas desempenham um papel importante no cenário brasileiro como matérias-primas (*commodities*), sendo amplamente usadas, tanto para consumo interno quanto para fins de exportação.

Além dos fatores técnicos, a viabilidade econômica da secagem é muito importante. Segundo Marquezan (2006), a principal razão que leva as pessoas a realizarem investimentos é a busca pelo retorno lucrativo. Mas, para que haja lucro, é necessário que o retorno financeiro do investimento seja superior ao capital investido e as despesas. Esse conceito pode ser aplicado também à secagem de grãos. Para isso, faz-se necessária a realização de uma análise econômica criteriosa, a fim de considerar todos os riscos econômicos envolvidos nesse processo, buscando estratégias que minimizem a ocorrência de fracassos no investimento (Valente et al., 2011, Mugabi; Driscroll, 2016).

Diversos autores (Ribeiro; Biaggioni, 2006, Lawrence et al., 2015, Mugabi; Driscroll, 2016) já avaliaram, por meio de simulações econômicas, a viabilidade da secagem considerando isoladamente diferentes tipos de grãos, secadores e capacidades de secagem. Porém, ainda se faz necessária a realização de uma análise que permita a avaliação, de forma conjunta, dos principais parâmetros técnicos e econômicos envolvidos no processo. Para isso, é importante considerar os diferentes tipos de grãos, volume de produto úmido e os tipos de combustível utilizados na secagem, para que seja possível estimar mais precisamente os custos e as receitas.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar, por meio de simulações, os impactos do tipo de produto, tipo de combustível utilizado e volume

de produto úmido, na viabilidade econômica da secagem de grãos com baixas temperaturas, considerando as condições de armazenagem no Brasil.

2. Material e métodos

2.1. Etapas e variáveis consideradas no estudo

Para avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem com baixas temperaturas foram consideradas sete tipos de grãos (amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo), escolhidas com base na sua importância econômica (CONAB, 2018) e três capacidades volumétricas de secadores ($10,6 \text{ m}^3$; $134,7 \text{ m}^3$ e $392,7 \text{ m}^3$), referentes ao volume de grãos úmidos e determinados de acordo com as especificações técnicas de secadores comercializados no Brasil (Jasper et al., 2006, Polidryer, 2018). Consideraram-se, ainda, os custos de secagem usando lenha e os resíduos da cultura (palha e casca) como combustíveis para a fornalha. Todas as variáveis foram combinadas totalizando 42 cenários que foram analisados separadamente e depois comparados entre si (Fig. 1).

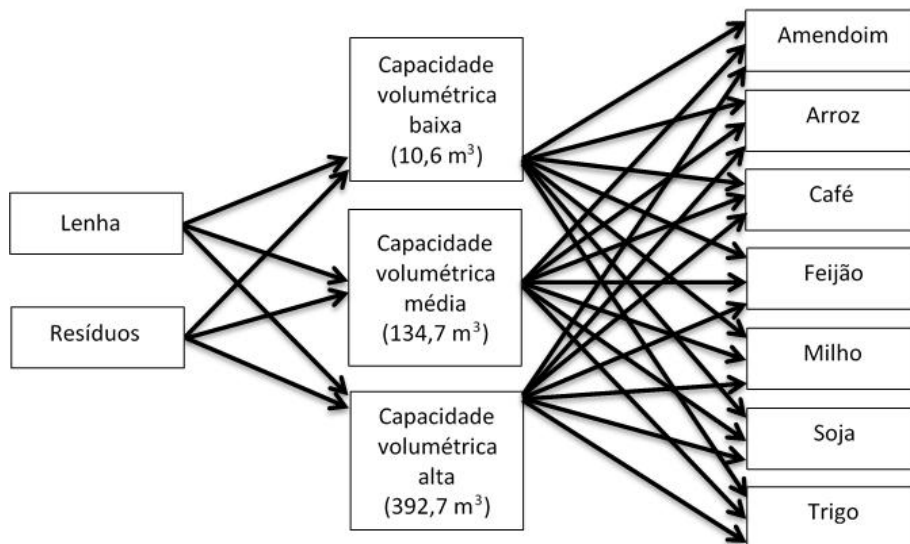


Fig. 1. Esquema de cenários simulados.

2.2. Obtenção de dados técnicos e econômicos

Para a simulação do tempo de secagem com baixas temperaturas foi utilizada a equação do modelo de balanço de energia (Eq. 1), calculada com base na propriedade dos

grãos, considerando a umidade relativa do ar de secagem de 70% e aquecimento do ar ambiente de 10°C (Silva et al., 2009). Outras condições do ar de secagem e a temperatura de equilíbrio foram calculadas com base nas relações psicrométricas (Melo et al., 2004). As taxas de fluxo de ar de 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹ e teor de água inicial dos grãos de 20% (base úmida) foram utilizadas durante as simulações, realizadas de tal forma que o produto foi seco até atingir o teor de água de equilíbrio. Este valor foi calculado usando a equação de Chung-Pfost (Brooker et al., 1992).

$$60(Q/V_e)C_a(T_a - T_e)t = h_v MS(U_0 - U_e) \quad (1)$$

Em que Q é a vazão do ar de secagem (m³ min⁻¹), V_e é o volume específico do ar de secagem (m³ kg⁻¹ de ar seco), C_a é o calor específico do ar de secagem (kJ kg⁻¹°C⁻¹), T_a é a temperatura do ar de secagem (°C), T_e é a temperatura de equilíbrio entre o ar de secagem e os grãos (°C), t é o tempo de secagem (h), h_v é o calor latente de vaporização (kJ kg⁻¹ de água), MS é a quantidade de matéria seca existente no produto (kg), U₀ é o teor de água inicial (b.s.) e U_e é o teor de água de equilíbrio (b.s.) (Tabela 1).

Os dados técnicos requeridos para a análise econômica incluíram também o cálculo do consumo de energia (Eq. 2, 3, e 4), realizado com base na vazão do ar de secagem e na pressão estática da massa de grãos (Brooker et al., 1992), além da quantidade de combustível.

Tabela 1. Teores de água de equilíbrio considerando a umidade relativa de equilíbrio dos grãos igual a 0,70.

Tipo de Grão	Teor de água de equilíbrio (b.s.*)
Amendoim	0,08
Arroz	0,14
Café	0,15
Feijão	0,16
Milho	0,15
Soja	0,14
Trigo	0,14

* Teor de água de equilíbrio expresso em base seca.

$$P = 0,7355 \left(\frac{Q(PE/9,80665)}{4500\vartheta} \right) \quad (2)$$

$$PE = H \left(\frac{aQ_a^2}{\ln(1 + bQ_a)} \right)^{1,5} \quad (3)$$

$$Q_a = \frac{Q}{60A} \quad (4)$$

$$M_c = 60 \frac{\rho Q C_a (T_a - T)}{\eta \text{PCI}} \quad (5)$$

Em que P é a potência do motor do ventilador (kW), PE é a pressão estática (Pa), ϑ é o rendimento do ventilador (decimal), H é a altura dos grãos (m), Q_a é a vazão do ar ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$), a e b são parâmetros que dependem do produto ($\text{Pa s}^2 \text{m}^{-3}$ e $\text{m}^2 \text{s m}^{-3}$, respectivamente), A é a área da base do silo/secador (m^2), M_c é o consumo de combustível (kg h^{-1}), ρ é a massa específica do ar de secagem (kg m^{-3}), T é a temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$), η é o rendimento da fornalha (decimal) e o PCI é o poder calorífico inferior do combustível (kJ kg^{-1}).

A Tabela 2 apresenta dados de disponibilidade e poder calorífico dos principais resíduos agrícolas utilizados na secagem de grãos no Brasil. Para a lenha foi considerado um PCI igual a $12.970 \text{ kJ kg}^{-1}$ (EPE, 2017).

Os dados econômicos requeridos para as análises foram o preço investido no sistema de secagem, fator de sucateamento (depreciação), fator de manutenção, fator de quebra técnica, preço de venda do produto, preço da mão-de-obra, encargos sociais, taxas e impostos, taxa de juros, custo da energia elétrica, taxa de atratividade e preço do combustível.

Tabela 2. Síntese de Indicadores de Produção, Disponibilidade e Poder Calorífico dos Resíduos Agrícolas.

Produto	Produtividade (tbs/t*)	Fator de Disponibilidade para Coleta (%)	PCI (kJ/kg)
Palha de soja	2,30	30	14.600
Palha de milho	1,68	40	17.700
Palha de arroz	1,55	40	16.000
Casca de arroz	0,19	40	16.000
Palha de trigo	2,90	40	12.400
Palha de feijão	1,16	40	14.000
Casca de café	2,00	50	15.500
Casca de amendoim	1,04	25	12.900

* Produtividade expressa em toneladas de resíduos culturais (base seca) por tonelada de grãos.

Fontes: Adaptado de EPE (2014), Fasina (2008), Lopes et al. (2001).

O valor investido no sistema de secagem foi determinado segundo a metodologia utilizada por Jasper et al. (2006) e atualizado com correção monetária (Tabela 3). O fator de sucateamento (depreciação) foi calculado de forma linear e proporcional a cada ano do horizonte de planejamento (20 anos), correspondendo à desvalorização que o bem sofre devido ao seu uso, obsolescência ou desgaste natural e equivale a 10% do investimento inicial (Silva et al., 2009). O fator de manutenção foi usado para estimar o valor gasto com reparos e manutenção do sistema de secagem. Foi considerada uma taxa de 3% do valor investido na aquisição do sistema como custo anual de manutenção (Mugabi; Driscroll, 2016).

Tabela 3. Valores médios investidos nos sistemas de secagem.

Item	Custo (R\$)*
Secador pequeno	9.612,79
Secador médio	38.637,93
Secador grande	98.984,51

* Setembro de 2017

O fator de quebra técnica refere-se às perdas de matéria seca ocorridas durante o processo de secagem, como secagem incompleta ou em excesso e perdas na qualidade dos grãos (Nourbakhsh et al., 2016). Neste estudo, o fator de quebra técnica utilizado foi 0,5%, seguindo recomendações de Jasper et al. (2006). Também, o volume de grãos a ser seco variou para um mesmo tamanho de secador, devido à variação na massa específica aparente de cada produto. O preço de venda foi obtido por meio de páginas na rede mundial de computadores (*internet*) que disponibilizam cotações atualizadas dos valores de cada produto (Tabela 4).

O preço de mão-de-obra foi considerado igual a R\$ 80,00 por dia, sendo definido como a remuneração referente a um trabalhador diarista a seco, ou seja, pagamento diário de quantias pré-estabelecidas, em moeda corrente, e destituídas de encargos e benefícios sociais (IEA, 2017). Os encargos sociais são os custos incidentes sobre a folha de pagamento de salários e foram iguais a 68% da folha de pagamento (Guia Trabalhista, 2017).

Foram utilizados ainda os custos associados com as taxas e impostos incidentes sobre o processo de secagem, correspondendo a 10% do valor investido no sistema (CONAB, 2018).

Tabela 4. Preço médio de venda dos grãos utilizados nas simulações e volumes de grãos a serem secos dependendo do tamanho do secador

Grão	Preço de venda (R\$ t ⁻¹)*	Capacidade volumétrica de secagem (tonelada)		
		Secador pequeno	Secador médio	Secador grande
Amendoim	1.680,00	5,42	68,83	200,67
Arroz	770,00	6,26	79,47	231,69
Café	7.420,00	5,30	67,35	196,35
Feijão	2.500,00	7,95	101,02	294,52
Milho	460,00	7,90	100,35	292,56
Soja	1.070,00	6,68	84,86	247,40
Trigo	630,00	8,54	108,43	316,12

* Setembro de 2017

Outro parâmetro empregado na análise foi a taxa de juros, que é o valor incidente sobre os recursos necessários ao custeio da implantação do sistema de secagem, considerada a partir da época de liberação ou de utilização do crédito (CONAB, 2018, Lopes; Steidle Neto, 2017). O valor da taxa de juros foi igual a 10% ao ano (Banco do Brasil, 2017).

O custo de energia elétrica (R\$ 0,40 kWh⁻¹) foi baseado nas tarifas vigentes no Brasil (CEMIG, 2018, ELETROPAULO, 2018, CEMAR, 2018), sendo o custo total de energia elétrica obtido com base na potência requerida pelos sistemas de movimentação do produto e do ar de secagem, além do tempo requerido para o processo.

A taxa de atratividade representa o retorno que o investidor espera pelo capital que foi empregado no seu investimento, sendo neste trabalho igual a 7% (Marquezan, 2006, Mugabi; Driscroll, 2016).

O preço do combustível para a fornalha foi obtido em páginas de agronegócios na rede mundial de computadores (*internet*), sendo o valor médio da lenha igual a R\$ 0,15 por quilograma e o uso da biomassa considerado com custo menor, uma vez que são reaproveitados da área de cultivo.

2.3. Análise da viabilidade econômica

A metodologia empregada na análise econômica foi o modelo de fluxo de caixa, em que todos os fatores foram considerados durante um horizonte de planejamento de 20 anos, determinado em função da vida útil média dos secadores e dos demais componentes envolvidos no processo (Jones et al., 2012). Neste trabalho, o fluxo de caixa representa todas as contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro) relacionadas ao processo de secagem de grãos ao longo do horizonte de planejamento. Cada fluxo de caixa foi construído considerando-se dois ciclos de secagem. Este valor foi obtido depois da execução de pré-testes para identificação do número mínimo de ciclos de secagem requerido para que o processo com baixas temperaturas fosse viável para todos os tipos de grãos e capacidades de secadores.

Os índices usados na avaliação econômica foram o valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (RBC), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de retorno do capital investido (TRC).

O VPL corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, ou seja, a soma das despesas e das receitas de um investimento, referido ao instante inicial (Eq. 6) (Lopes et al., 2013). A implantação do sistema de secagem só é viável se o VPL for superior a zero (Marquezan, 2006).

$$\text{VPL} = V_0 + \sum_{i=1}^N \left[(F_L)_i \left(1 + \frac{j}{100} \right)^{-i} \right] \quad (6)$$

Em que V_0 é o valor do investimento inicial para a implantação do sistema de secagem (R\$), i é o ano considerado, N é o horizonte de planejamento (anos), $(F_L)_i$ é o fluxo de caixa no ano i (R\$) e j é a taxa de juros considerada (%).

A RBC é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontando a taxa de juros adotada (Eq. 7). Sendo assim, para que seja viável a implantação do sistema de secagem, é necessária uma RBC superior a um (Lopes; Steidle Neto, 2017).

$$\text{RBC} = \frac{|\text{VPL} - |V_0||}{|V_0|} \quad (7)$$

O TRC refere-se ao tempo necessário para que o valor investido na implantação do sistema de secagem seja recuperado, sendo obtido iterativamente aplicando-se a Eq. (8) para cada ano dentro do horizonte de planejamento, até que o resultado obtido seja maior que o valor do investimento (Lopes, 2002). Para um investimento ser viável seu TRC deve ser menor que o horizonte de planejamento.

$$(V_p)_i = (V_p)_{i-1} + \frac{(F_L)_i}{\left(1 + \frac{j}{100} \right)^i} \quad (8)$$

Em que V_p é o valor anual parcial recuperado (R\$).

A TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa para a qual a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos, e foi calculada por meio de interpolação inversa, realizada em duas etapas. Inicialmente, foram determinados quatro valores de VPL para a implantação do sistema de secagem em função de quatro valores de taxas de juros, de maneira que dois deles fossem positivos e dois negativos. O valor inicial de taxa de juros utilizado

para a determinação dos valores de VPL foi zero e os valores seguintes foram obtidos por incrementos e decrementos lineares de 0,05. Com os quatro valores determinados foi possível gerar um conjunto de pontos (X_i, Y_i) em que i varia de 1 a 4, X representa as taxas de juros e Y os valores presentes líquidos (2 valores positivos e 2 negativos). O valor da TIR pôde ser obtido utilizando-se equações baseadas nos polinômios de Lagrange (Gerald; Weatley, 1984). Para um investimento ser viável, a TIR deve ser maior que a taxa de atratividade considerada como valor mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento.

Depois da realização de todas as simulações, foi feita uma verificação de quais cenários de secagem foram viáveis economicamente, destacando-se os principais fatores que contribuíram para esta viabilidade. Para isso foram gerados gráficos e tabelas relacionando os cenários com os índices econômicos. Durante todas as análises, os dados foram processados utilizando-se planilhas eletrônicas.

3. Resultados e discussão

Foram simulados 42 cenários para avaliar a viabilidade da implantação dos sistemas de secagem com baixas temperaturas, sendo que todos eles se mostraram economicamente viáveis desde que pelo menos dois ciclos de secagem sejam realizados por ano. Os VPL variaram entre R\$ 38 mil e R\$ 52 milhões, aproximadamente, ao final do horizonte de planejamento de 20 anos. Os maiores VPL foram atingidos pelos grandes produtores de café e feijão, indicando maior rentabilidade destes investimentos em relação aos demais. Os menores VPL foram obtidos pelos pequenos produtores de milho, arroz e trigo (Fig. 2). Os principais fatores que contribuíram para esses resultados foram os preços de venda dos grãos e o volume de produto a ser seco. Investimentos realizados com culturas de maior valor econômico obtiveram maiores receitas ao final do horizonte de planejamento considerado. A Fig. 2 mostra os valores de VPL médios considerando os diferentes tipos de grãos e capacidades de secagem.

Dos 42 cenários simulados, 36 obtiveram TRC imediato, os quais incluíram as culturas de amendoim, café, feijão e soja, produzidas por médios e grandes produtores. Fatores como o alto valor econômico destes grãos e o maior volume a ser seco podem ter contribuído para a recuperação imediata do capital investido, o que também indica o baixo risco destes

investimentos. Para os demais cenários, os valores de TRC variaram entre 1,5 ano para pequenos produtores de trigo, 2 anos para pequenos produtores de arroz e 3 anos nos investimentos feitos por pequenos produtores de milho. Maior tempo de retorno do capital indica que os valores investidos no projeto ficarão comprometidos por alguns anos, tornando os fluxos de caixa mais arriscados. Apesar disso, os maiores valores de TRC observados ainda foram menores que a metade do horizonte de planejamento estabelecido para o investimento.

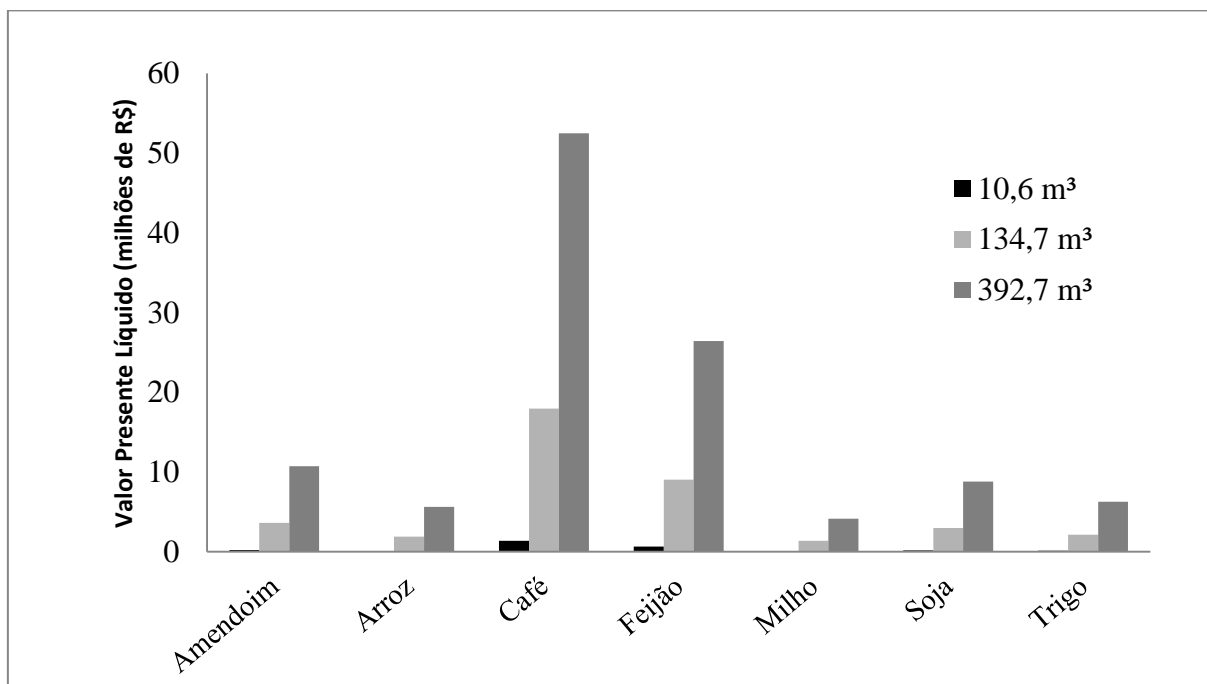


Fig. 2. Valor presente líquido (VPL) médio dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade ($10,6 \text{ m}^3$), média capacidade ($134,7 \text{ m}^3$) e alta capacidade ($392,7 \text{ m}^3$).

Os valores de RBC variaram de 3 a 529. Os menores índices foram observados para as culturas do milho, arroz, trigo, soja e amendoim, para todos os tamanhos de secadores, indicando menor rentabilidade do investimento, devido ao seu baixo preço de venda, quando comparado às outras culturas avaliadas. Os maiores valores de RBC foram observados para as culturas do café e feijão, que se destacaram como os investimentos com maior rentabilidade em função do alto valor econômico destes produtos. Na Fig. 3 apresentam-se os valores médios de RBC dos cenários simulados, considerando as três capacidades de secagem avaliadas e os diferentes tipos grãos.

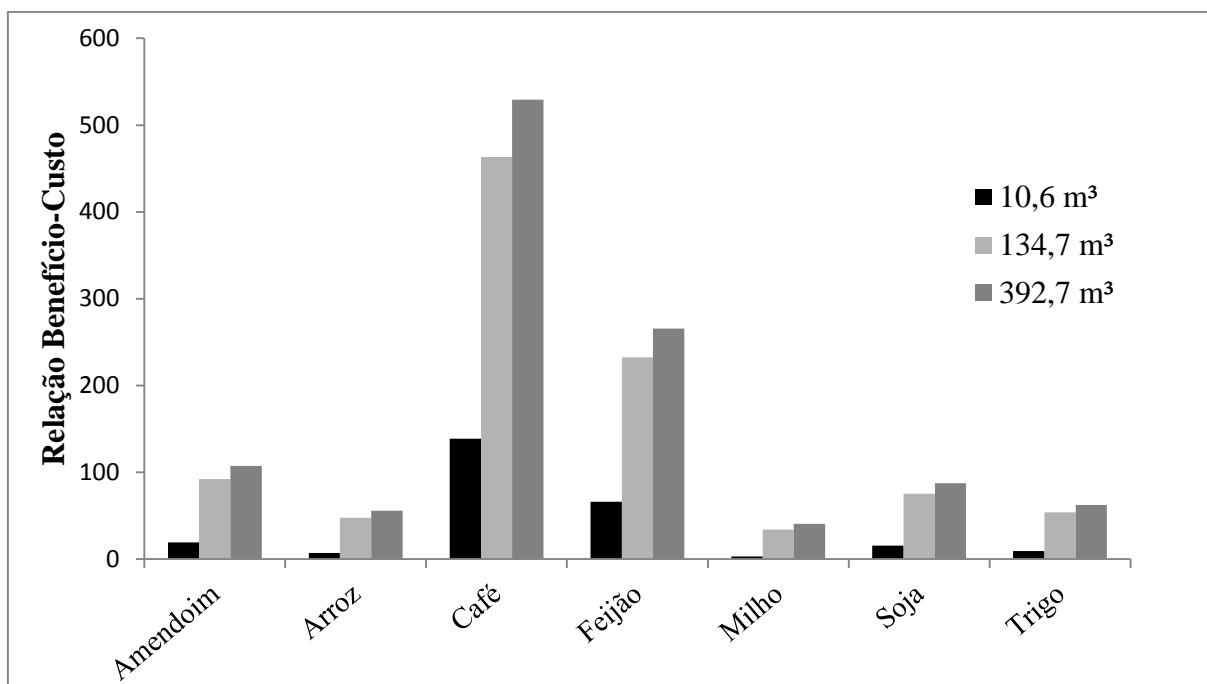


Fig. 3. Relação benefício-custo (RBC) médio dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade ($10,6 \text{ m}^3$), média capacidade ($134,7 \text{ m}^3$) e alta capacidade ($392,7 \text{ m}^3$).

Na Fig. 4 encontram-se os valores médios da TIR dos cenários simulados, considerando os diferentes tipos de grãos e capacidades de secagem. A TIR variou entre 29 e 100%, sendo os menores índices observados nas culturas do milho, trigo e soja, produzidas por pequenos produtores. As culturas de amendoim, arroz, café e feijão obtiveram os maiores índices de TIR para todas as capacidades de secagem. Todos os valores da TIR ficaram bem acima da taxa de atratividade (7%), recomendada por Marquezan (2006) e Mugabi e Driscroll (2016), como a porcentagem mínima de retorno aceitável que os sistemas de secagem de grãos devem ganhar para ser economicamente viável, confirmando cenários simulados como investimentos de baixo risco e lucrativos.

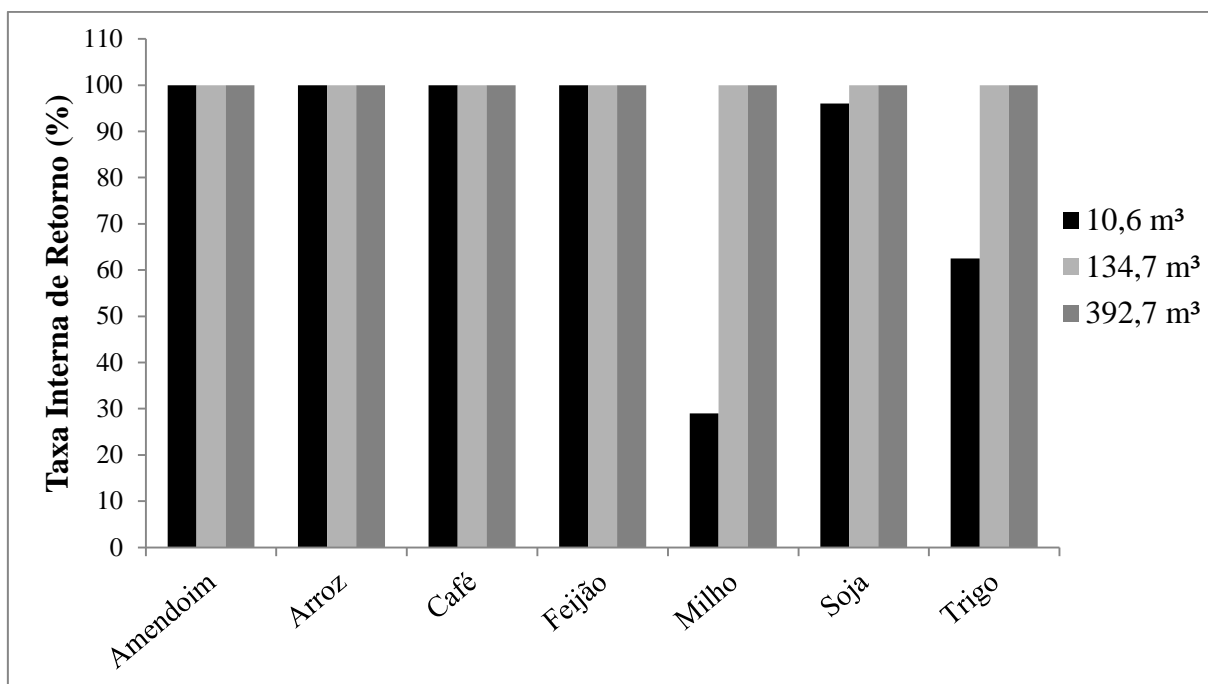


Fig. 4. Taxa interna de retorno (TIR) médio dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade (10,6 m³), média capacidade (134,7 m³) e alta capacidade (392,7 m³).

O preço da mão-de-obra e os encargos sociais incidentes sobre a folha de pagamento dos trabalhadores também tiveram considerável influência na viabilidade dos investimentos, representando cerca de 40% dos custos envolvidos no processo.

O tipo de combustível usado foi a variável que menos interferiu nos resultados, não havendo diferenças consideráveis nos índices econômicos quando apenas essa foi avaliada nos cenários simulados. Este fato pode ser explicado pelo baixo valor comercial da lenha e pelos pequenos volumes de combustíveis requeridos para a secagem com baixas temperaturas, que provocou variações muito pequenas nos custos da secagem quando comparado à palha/casca do grão produzido. Ressalta-se que os custos associados aos combustíveis tendem a aumentar quando são considerados o frete e a mão-de-obra necessária para o seu uso durante o processo de secagem. No caso da lenha, a distância entre o local de secagem e o fornecedor do combustível afetam diretamente o valor do frete, assim como a região e a época do ano em que a lenha é adquirida. A utilização dos resíduos requer mão-de-obra para transporte do local de cultivo até o secador, além do seu preparo para uso na fornalha.

Vale ressaltar, também, a importância da utilização dos resíduos agrícolas como combustíveis alternativos para a secagem de grãos. Além do grande volume produzido e da disponibilidade para uso imediato, os resíduos culturais são altamente eficientes na produção

de calor, apresentando, em alguns casos, um PCI superior ao da lenha e destacando-se também pelas suas menores taxas de emissão de carbono. Lim et al. (2012) afirmam que os resíduos de grãos são considerados uma das fontes de energia mais promissoras, devido à sua quase neutralidade em carbono. Estes resíduos também desempenham um importante papel em inúmeras práticas agrícolas, como, por exemplo, no plantio direto. Diante disso, é importante ressaltar que o uso deste material como combustível para a secagem não compromete estas práticas. Wang e Mendelsohn (2003) relataram que deixar 15% dos resíduos da lavoura em campo é suficiente para fornecer adequada fertilização para o solo, proteção e carbono, enquanto 25% é, geralmente, usado para ração para animais e matérias-primas industriais.

De acordo com os resultados das simulações, para secar o produto que lhe deu origem, são necessários, em média, cerca de 4% do volume de biomassa gerada, considerando os grãos avaliados neste estudo. Assim, as atividades agrícolas podem continuar sendo realizadas na propriedade sem que sua eficiência seja comprometida. Além disso, a combustão incompleta da lenha pode gerar gases tóxicos, como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs). Segundo Lima et al. (2017), estes compostos são considerados poluentes ambientais por apresentarem a característica de não serem biodegradáveis, além de serem potencialmente carcinogênicos e/ou mutagênicos. Estes aspectos ressaltam a importância do uso de resíduos para minimizar impactos ambientais, contribuindo para uma atividade agrícola mais sustentável.

Alguns parâmetros técnicos importantes também influenciaram a análise econômica, ressaltando que eles variaram em função do tipo de grão, tamanho do secador e tipo de combustível. Dentre eles destacam-se o tempo de secagem, consumo de energia e quantidade de combustível. Os tempos de secagem simulados variaram conforme o tipo de grão e foram 233,32; 145,79; 137,44; 118,16; 136,95; 155,41 e 149,56 horas, para os grãos de amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo, respectivamente.

O consumo médio de energia variou em função do tamanho do secador e do tipo de grão, sendo de 0,1248; 4,9418 e 32,0767 kW para secadores pequenos, médios e grandes, respectivamente. A quantidade de combustível usado para a secagem dos grãos (Tabela 5) foi influenciada por todas as variáveis estudadas.

Tabela 5. Quantidade de combustível requerida na fornalha (kg).

Grão	Secador					
	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande
	Lenha			Palha		
Amendoim	168,8	2143,8	6250,0	169,7	2155,4	6283,9
Arroz	121,7	1546,6	4509,0	98,7	1253,7	3655,1
Café	97,3	1235,6	3602,3	81,4	1033,9	3014,4
Feijão	125,4	1593,4	4645,6	116,2	1476,2	4303,8
Milho	144,4	1834,5	5348,5	105,8	1344,3	3919,2
Soja	138,6	1760,5	5132,6	123,1	1563,9	4559,6
Trigo	170,4	2164,8	6311,5	178,2	2264,3	6601,6

4. Conclusões

Todos os cenários simulados mostraram-se viáveis economicamente, desde que operado pelo menos dois ciclos de secagem por ano. As culturas que mais se destacaram, apresentando os maiores índices de VPL, RBC e TIR, foram o café e o feijão nos sistemas com média (134,7 m³) e alta (392,7 m³) capacidade de secagem. Os menores índices foram observados para a cultura do milho em sistemas com baixa capacidade de secagem (10,6 m³).

Os fatores que mais influenciaram na viabilidade econômica da secagem foram o tipo de grão, volume de produto a ser seco e os custos com mão-de-obra e encargos sociais, sendo estas as variáveis que mais impactaram nos custos e na lucratividade final do investimento.

O tipo de combustível usado na fornalha para a secagem dos grãos não interferiu de maneira considerável nos índices econômicos avaliados. Apesar deste resultado, é recomendado o uso dos resíduos culturais como combustível de secagem devido aos seus benefícios ambientais, bem como a sua grande quantidade e disponibilidade para uso imediato.

ARTIGO 2

Artigo submetido ao periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira

Análise econômica da secagem de grãos com altas temperaturas no Brasil

Pricila Araújo Santana, Daniela de Carvalho Lopes, Antonio José Steidle Neto

Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, Rodovia MG 424, km 47,
Sete Lagoas, 35701-970, Minas Gerais, Brasil

Resumo

O processo de secagem de grãos é uma das etapas mais importantes da pós-colheita de produtos agrícolas, pois contribui para a manutenção da qualidade dos grãos depois de colhidos, além de permitir que estes sejam armazenados de maneira segura por maiores períodos. Dentre os métodos de secagem artificial, a secagem com altas temperaturas é o mais rápido e o menos dependente das condições climáticas locais. Para a implantação de um sistema de secagem é necessária a realização de uma análise econômica detalhada para avaliar o investimento a ser realizado, visando garantir um retorno financeiro satisfatório ao produtor. Neste estudo, avaliou-se a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem de grãos com altas temperaturas, por meio do modelo de fluxo de caixa, considerando três capacidades de secagem, sete tipos de grãos e dois tipos de combustíveis para a fornalha. Foram simulados 42 cenários, obtidos por meio da combinação de todas as variáveis, que foram avaliados separadamente, considerando-se um horizonte de planejamento de 20 anos, e comparados entre si. Todos os cenários mostraram-se economicamente viáveis desde que executado, pelo menos, 5 ciclos de secagem durante o ano, destacando-se o café e o feijão nos sistemas com capacidade de secagem alta (227,1 m³), que apresentaram os maiores índices de valor presente líquido (VPL), da relação benefício-custo (RBC) e da taxa interna de retorno (TIR). Os fatores que mais influenciaram na viabilidade econômica do investimento foram o tipo de grão e o volume de produto a ser seco. O tipo de combustível usado foi a variável que menos interferiu nos índices econômicos avaliados.

Palavras-chave: biomassa, sistemas de secagem, viabilidade econômica, pós-colheita.

1. Introdução

Segundo o levantamento da safra brasileira de grãos no Brasil (CONAB, 2018), a produção de grãos está estimada em 228,5 milhões de toneladas para a safra 2017/2018. As culturas que mais contribuem para essa alta estimativa são amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo, pois estas culturas desempenham um importante papel no cenário agrícola brasileiro como matéria-prima (*commodities*), sendo largamente usadas tanto para consumo interno quanto para fins de exportação.

A secagem de grãos é um dos processos mais importantes no pré-processamento dos grãos, e visa, principalmente, reduzir o teor de água para níveis adequados que permitam sua preservação pós-colheita (Mansor et al., 2010). É um processo simultâneo de transferência de calor e de massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da água contida nos grãos deve ser feita de modo que o produto fique em equilíbrio com o ar ambiente onde será armazenado e deve ser conduzida a fim de preservar as características físicas, fisiológicas e nutritivas dos grãos, além de proporcionar o armazenamento seguro do produto depois de seco (Silva et al., 2009, Brooker et al., 1992). Assim, independentemente da cultura, finalidade e do nível tecnológico aplicado ao processo de produção, a secagem é uma das variáveis de maior influência na manutenção da qualidade dos grãos na pós-colheita (Furquim et al., 2014, Jokiniemi; Ahokas, 2014).

A secagem com altas temperaturas baseia-se na propriedade pela qual aumentando-se a temperatura do ar, a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, a sua capacidade de absorver vapor d'água aumenta. Geralmente, o ar é forçado, por meio de ventilador, a passar através da massa de grãos. Depois de permanecer em contato com o produto, o ar sai do secador com uma temperatura menor e uma umidade relativa mais elevada (Coradi et al., 2016, Sampaio, 2004). Dentre os métodos de secagem artificial, a secagem com altas temperaturas é a mais rápida e a que menos depende das condições climáticas locais. Embora não seja comumente usada em regiões menos desenvolvidas, devido ao seu alto investimento inicial, essa técnica de secagem é desejável em muitos processos industriais, como na secagem de arroz, pois pode ser benéfica para a qualidade de cozimento deste produto (Cheevitsopon; Noomhorm, 2011), bem como na indústria de rações, porque as altas temperaturas tendem a aumentar a digestibilidade do amido de milho (Odjo et al., 2018).

Nos sistemas de secagem com altas temperaturas, os secadores podem ser classificados de acordo com o tipo de operação (contínuos ou intermitentes), e com a relação entre os movimentos de produto e do ar de secagem (leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxos mistos). Existem ainda os secadores rotativos e os de leito fluidizado. No Brasil, o tipo de secador mais usado para a secagem com altas temperaturas é o de coluna com fluxo misto. Esse tipo de secador é composto por dutos intercalados (calhas) dispostos em linhas alternadas paralela ou transversalmente dentro da sua estrutura, por onde a massa de grãos desloca-se verticalmente. O fluxo de produto dentro do secador recebe o ar de secagem em múltiplas direções, tornando a secagem mais homogênea e eficiente, além de proporcionar maior rendimento térmico e menor demanda de energia (Silva, 2009, Biagi; Bertol, 2002).

Além da tecnologia empregada na construção dos secadores, da sua capacidade e do tipo de grão a ser seco, o combustível utilizado para aquecer o ar é importante para a eficiência do processo. A lenha é o combustível mais usado nos processos de secagem de grãos, devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade, embora o seu uso apresente várias desvantagens. A combustão desse material geralmente é incompleta, não liberando toda energia química disponível, além de emitir grande quantidade de monóxido de carbono e outros gases tóxicos que, em contato com os grãos, prejudicam a qualidade destes (EMBRAPA, 2009, Weber, 2005). Por outro lado, Cardoen et al. (2015) afirmam que, o uso da biomassa como fonte de energia renovável vem crescendo constantemente, devido a fatores como a necessidade de fontes de energia alternativa, ao potencial de biomassa inexplorado e às baixas emissões de carbono. A principal vantagem do uso da biomassa é o grande volume produzido, já que esta pode ser encontrada em ambientes rurais e urbanos, e a sua disponibilidade para uso imediato (Singh, 2016). Além disso, a biomassa é quase neutra em CO₂, portanto, a substituição da lenha e do carvão por esse material levaria a uma redução de, aproximadamente, 93% da emissão líquida de CO₂ (Bilandzija et al., 2018). Os principais tipos de biomassa que podem ser usados para esta finalidade são as palhas, cascas, sabugos, bagaços e resíduos florestais.

Além da verificação de todos os fatores técnicos envolvidos na secagem, a realização da análise da viabilidade econômica do investimento é de suma importância para seu sucesso. A análise econômica permite verificar todos os riscos envolvidos no projeto, a fim de minimizar a ocorrência de possíveis fracassos no investimento (Valente et al., 2011, Mugabi; Driscroll, 2016). Uma das metodologias para a realização dessa análise é o fluxo de caixa, que

retrata todas as contribuições monetárias do investimento durante um horizonte de planejamento, por meio de indicadores que demonstram a viabilidade ou não do investimento (Marquezan, 2006).

Diversos autores (Filho et al., 2010, Lawrence et al., 2015, Mugabi; Driscoll, 2016, Oliveira, 2014) já avaliaram, por meio de análises econômicas, a viabilidade da implantação de sistemas de secagem considerando isoladamente diferentes tipos de sistemas, de grãos e capacidades de secagem. Entretanto, são necessários estudos que avaliem de forma conjunta os principais fatores técnicos e econômicos envolvidos no processo de secagem, e a influência da capacidade de secagem, tipo de produto e tipo de combustível na composição dos custos e na viabilidade econômica do investimento.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar, por meio de simulações, os impactos do tipo de produto, tipo de combustível e volume de produto úmido na viabilidade econômica da secagem de grãos com altas temperaturas, considerando as condições de armazenamento no Brasil.

2. Material e métodos

2.1. Dados técnicos e econômicos para as simulações

Para avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem com altas temperaturas foram consideradas sete tipos de grãos (amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo), escolhidos com base na sua importância econômica (CONAB, 2018) e três capacidades de secagem ($83,9 \text{ m}^3$; $104,9 \text{ m}^3$ e $227,1 \text{ m}^3$) de acordo com modelos de secadores comercializados no Brasil (CASP, 2018, COMIL, 2018, Kepler-Weber, 2018). Para a simulação da secagem foi considerado um secador de fluxo misto com duplo reaproveitamento do ar, por ser um sistema que proporciona uma secagem mais homogênea e eficiente, além de maior rendimento térmico e menor demanda de energia. Na composição dos custos de secagem, considerou-se, ainda, o uso de lenha e de resíduos culturais (palhas e cascas) como combustíveis para a fornalha. Todas as variáveis foram combinadas, totalizando 42 cenários que foram avaliados separadamente e comparados entre si (Fig. 1).

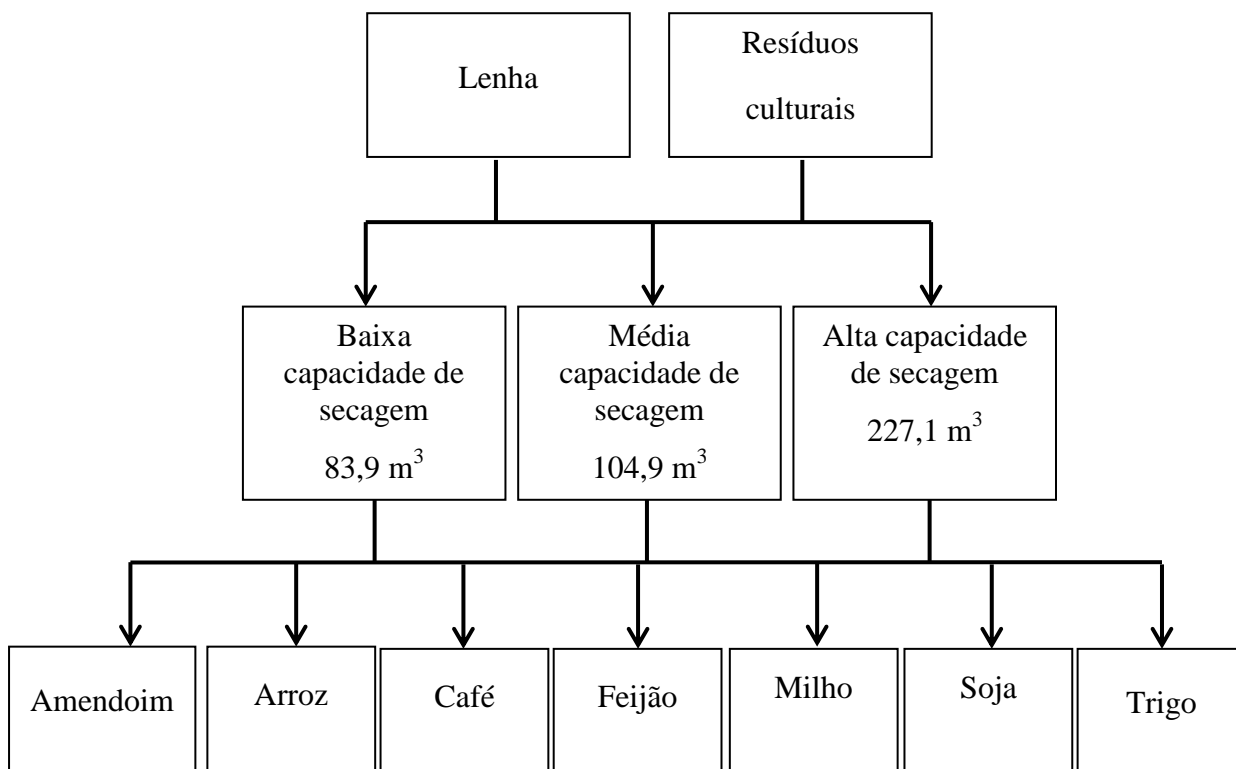


Fig. 1. Esquema de cenários simulados.

Para a simulação do tempo de secagem com altas temperaturas e do consumo de energia elétrica foram utilizados parâmetros técnicos de três modelos de secadores de coluna comercializados no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros técnicos indicados pelo fabricante para secagem de grãos de soja de 18 para 13% de teor de água (base úmida).

Parâmetro	Secador pequeno	Secador médio	Secador grande
Capacidade estática (m ³)	83,9	104,9	227,1
Capacidade nominal (t/h)	40	60	125
Vazão de ar (m ³ /h)	72.000	108.000	225.000
Quantidade de calor (kcal/h)	1.800.000	2.700.000	5.625.000
Potência requerida (cv)	25	40	75

Fonte: COMIL, 2018.

Para determinar o tempo de secagem, a capacidade nominal indicada pelo fabricante de cada secador foi adaptada para uma capacidade efetiva de secagem (Eq. 1), dependendo do produto a ser seco, além dos seus teores de água inicial e final. Para isso, foram calculados coeficientes de conversão (fatores de produto) com base na capacidade nominal do secador para soja e nas massas específicas de cada produto. Os fatores de produto usados neste estudo foram 1,133; 0,968; 1,160; 0,740; 0,746; 1,000 e 0,683 para o amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo, respectivamente. Um fator de teor de água também foi calculado a partir do teor de água inicial dos grãos (Eq. 2), seguindo proposição de Valente et al. (2011).

$$CE = (CN)(fp)(fu) \quad (1)$$

$$fu = 1 + (-0,1544)(U_i - 18) + 0,014863(U_i - 18)^2 + (-0,0005942)(U_i - 18)^3 \quad (2)$$

Em que CE é a capacidade efetiva de secagem ($t h^{-1}$), CN é a capacidade nominal do secador para soja ($t h^{-1}$), fp é o fator de correção para o tipo de produto (decimal), fu é o fator de correção de teor de água inicial do produto (decimal) e U_i é o teor de água inicial do produto em base úmida (%).

Neste estudo foi considerada a secagem dos grãos a partir do teor de água inicial de 20% até atingir 13% (base úmida) e o aquecimento do ar de secagem de 20°C para 110°C, seguindo recomendações dos fabricantes deste tipo de secadores (CASP, 2018, COMIL, 2018, Kepler-Weber, 2018). O tempo de funcionamento do sistema para cada ciclo de secagem foi calculado dividindo-se o volume de grãos (t) pela capacidade efetiva de secagem de cada secador ($t h^{-1}$). O consumo de energia foi determinado multiplicando a potência requerida pelo sistema de secagem (fornecida pelo fabricante) por 0,7355, para obter o consumo em kW. A quantidade de combustível foi calculada considerando o rendimento da fornalha igual a 80% (Eq. 3) (Lopes et al., 2001).

$$M_c = 60 \frac{\rho Q c_p (T_s - T_a)}{\eta PCI} \quad (3)$$

Em que M_c é o consumo de combustível ($kg h^{-1}$), ρ é a massa específica do ar de secagem ($kg m^{-3}$), Q é a vazão do ar ($m^3 min^{-1}$), c_p é o calor específico do ar de secagem ($kJ kg^{-1} °C^{-1}$), T_s é a temperatura do ar de secagem ($°C$), T_a é a temperatura do ar ambiente ($°C$), η

é o rendimento da fornalha (decimal) e o PCI é o poder calorífico inferior do combustível (kJ kg^{-1}).

A Tabela 2 contém os dados de disponibilidade e de poder calorífico dos principais resíduos culturais utilizados na secagem de grãos no Brasil. Para a lenha foi considerado um PCI igual a $12.970 \text{ kJ kg}^{-1}$ (EPE, 2017).

Os dados econômicos usados nas análises foram o preço investido no sistema de secagem, fator de sucateamento (depreciação), fator de manutenção, fator de quebra técnica, preço de venda do produto, preço da mão-de-obra, encargos sociais, taxas e impostos, taxa de juros, custo da energia elétrica, taxa de atratividade e preço do combustível.

Tabela 2. Síntese de indicadores de produção, disponibilidade e poder calorífico dos resíduos culturais.

Produto	Produtividade (tbs/t)*	Fator de disponibilidade para coleta (%)	PCI (kJ kg^{-1})
Palha de soja	2,30	30	14.600
Palha de milho	1,68	40	17.700
Palha de arroz	1,55	40	16.000
Casca de arroz	0,19	40	16.000
Palha de trigo	2,90	40	12.400
Palha de feijão	1,16	40	14.000
Casca de café	2,00	50	15.500
Casca de amendoim	1,04	25	12.900

* Produtividade expressa em toneladas de resíduos culturais (base seca) por tonelada de grãos produzidos.

Fonte: Adaptado de EPE (2014), Fasina (2008), Lopes et al. (2001).

O preço médio investido no sistema de secagem foi obtido somando o valor do secador e o valor da fornalha para cada volume de produto a ser seco (Tabela 3). Tais valores foram obtidos por meio de orçamento de três modelos de secadores de coluna com recirculação de ar comercializados no Brasil (COMIL, 2018). O fator de sucateamento (depreciação) correspondeu à perda de valor ou eficiência produtiva decorrente do uso, obsolescência ou desgaste natural e foi estimado pelo método linear considerando um

horizonte de planejamento de 20 anos, equivalendo a 10% do investimento inicial (Silva et al., 2009). O fator de manutenção foi usado para estimar o valor gasto com reparos e manutenção do sistema de secagem. Foi considerada uma taxa de 3% do valor investido na aquisição do sistema como custo anual de manutenção (Mugabi; Driscroll, 2016).

Tabela 3. Valores médios investidos nos sistemas de secagem de portes diferentes.

Sistema de secagem	Custo (R\$)*
Secador pequeno	288.847,36
Secador médio	354.835,25
Secador grande	621.139,00

*Maio de 2018.

O fator de quebra técnica usado neste estudo foi de 0,5%, referente à perda de matéria seca e qualidade dos grãos, que ocorre durante o processo de secagem, devido à secagem incompleta ou em excesso (Jasper et al., 2006, Nourbakhsh et al., 2016). O preço médio de venda dos grãos foi obtido em páginas de agronegócios da rede mundial de computadores (*internet*), que disponibilizam cotações atualizadas dos valores de cada produto (Tabela 4).

Para o custo de mão-de-obra utilizou-se a remuneração de um trabalhador “diarista a seco” igual a R\$ 80,00, referente ao pagamento diário de quantias pré-estabelecidas, em moeda corrente, e destituídas de encargos e benefícios sociais (IEA, 2017). Os encargos sociais foram iguais a 68% da folha de pagamento, sendo considerados os custos incidentes sobre a folha de pagamento dos trabalhadores (Guia Trabalhista, 2017).

Tabela 4. Preço médio de venda dos grãos utilizados nas simulações e volume de grãos a ser seco dependendo do tamanho do secador.

Grão	Preço de venda (R\$ t ⁻¹)*	Volume de grãos a ser seco (tonelada)		
		Pequeno 83,9 m ³	Médio 104,9 m ³	Grande 227,1 m ³
Amendoim	1.680,00	42,87	53,60	116,05
Arroz	770,00	49,50	61,89	133,99
Café	7.420,00	41,95	52,45	113,55
Feijão	2.500,00	62,93	78,68	170,33
Milho	460,00	62,93	78,68	170,33
Soja	1.070,00	52,86	66,09	143,07
Trigo	630,00	67,54	84,44	182,82

* Setembro de 2017.

Também foram utilizados os custos associados às taxas e impostos incidentes sobre o processo de secagem que corresponderam a 10% do investimento (CONAB, 2018). Outra variável empregada na análise foi a taxa de juros, caracterizada pelo valor incidente sobre os recursos necessários ao custeio da implantação do sistema de secagem, considerada a partir da época de liberação ou de utilização do crédito (CONAB, 2018, Lopes; Steidle Neto, 2017). O valor da taxa de juros foi igual a 10% ao ano (Banco do Brasil, 2017). O custo de energia elétrica utilizado foi de R\$ 0,40 por kWh⁻¹ baseado nas tarifas vigentes no Brasil (CEMIG, 2018, ELETROPAULO, 2018), sendo o custo total de energia elétrica obtido com base na potência requerida pelos sistemas de movimentação do produto e do ar de secagem, além do tempo requerido para o processo. A taxa de atratividade correspondeu ao mínimo que o investidor se propõe a ganhar pelo capital empregado no seu investimento, sendo neste trabalho igual a 7% (Marquezan, 2006, Mugabi; Driscroll, 2016). O preço do combustível para a fornalha foi obtido em páginas de agronegócios da rede mundial de computadores (*internet*), sendo o valor médio da lenha igual a R\$ 0,15 por quilograma e o uso da biomassa foi considerado sem custo, porque são reaproveitadas da área de cultivo, geralmente localizada próxima do sistema de secagem.

2.2. Análise econômica

Para a análise econômica foi empregado o modelo de fluxo de caixa, onde todos os fatores foram analisados durante um horizonte de planejamento de 20 anos, determinado em função da vida útil média dos secadores e dos demais componentes envolvidos no processo (Jones et al., 2012). Neste trabalho, o fluxo de caixa representou todas as contribuições monetárias (entradas e saídas financeiras) relacionadas ao processo de secagem de grãos durante o horizonte de planejamento. Cada fluxo de caixa foi construído considerando-se cinco ciclos de secagem. Este valor foi obtido depois da execução de pré-testes para identificação do número mínimo de ciclos de secagem requerido para que o processo com altas temperaturas fosse viável para todos os tipos de grãos e capacidades de secadores.

Os índices usados na avaliação econômica foram o valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (RBC), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de retorno do capital investido (TRC).

O VPL corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, ou seja, a soma das despesas e das receitas de um investimento, referido ao instante inicial (Eq. 4) (Lopes et al., 2013). A implantação do sistema de secagem só é viável se o VPL for superior a zero (Marquezan, 2006).

$$\text{VPL} = V_0 + \sum_{i=1}^N \left[(F_L)_i \left(1 + \frac{j}{100} \right)^{-i} \right] \quad (4)$$

Em que V_0 é o valor do investimento inicial para a implantação do sistema de secagem (R\$), i é o ano considerado, N é o horizonte de planejamento (anos), $(F_L)_i$ é o fluxo de caixa no ano i (R\$) e j é a taxa de juros considerada (%).

A RBC é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontando a taxa de juros adotada (Eq. 5). Sendo assim, para que seja viável a implantação do sistema de secagem, é necessária uma RBC superior a um (Lopes; Steidle Neto, 2017).

$$\text{RBC} = \frac{\text{VPL} - |V_0|}{|V_0|} \quad (5)$$

O TRC refere-se ao tempo necessário para que o valor investido na implantação do sistema de secagem seja recuperado, sendo obtido iterativamente aplicando-se a Eq. (6) para cada ano dentro do horizonte de planejamento, até que o resultado atingido seja maior que o valor do investimento (Lopes, 2002). Para um investimento ser viável, o valor do seu TRC deve ser menor que o horizonte de planejamento.

$$(V_p)_i = (V_p)_{i-1} + \frac{(F_L)_i}{\left(1 + \frac{j}{100}\right)^i} \quad (6)$$

Em que V_p é o valor anual parcial recuperado (R\$).

A TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa pela qual a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos, e foi calculada por meio de interpolação inversa, realizada em duas etapas. Inicialmente, foram determinados quatro valores de VPL para a implantação do sistema de secagem em função de quatro valores de taxas de juros, de maneira que dois deles fossem positivos e dois negativos. O valor inicial de taxa de juros utilizado para a determinação dos valores de VPL foi zero e os valores seguintes foram obtidos por incrementos e decrementos lineares de 0,05.

Com os quatro valores determinados foi possível gerar um conjunto de pontos (X_i, Y_i) em que i varia de 1 a 4, X representa as taxas de juros e Y os valores presentes líquidos (2 valores positivos e 2 negativos). O valor da TIR pôde ser obtido utilizando-se equações baseadas nos polinômios de Lagrange (Gerald; Weatley, 1984). Para um investimento ser viável, a TIR deve ser maior que a taxa de atratividade considerada como valor mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento.

Depois da realização de todas as simulações, foi feita uma comparação entre os fluxos de caixa de todos os cenários simulados, destacando-se os principais fatores que contribuíram para a viabilidade econômica. Para isso, foram elaborados gráficos e tabelas relacionando os cenários com os índices econômicos. Durante todas as análises, os dados foram processados utilizando-se planilhas eletrônicas.

3. Resultados e discussão

Foram simulados 42 cenários para avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de secagem com altas temperaturas. Todos os cenários mostraram-se economicamente viáveis, com VPL variando entre R\$ 1 milhão e R\$ 80 milhões, aproximadamente, ao final dos 20 anos considerados como horizonte de planejamento, e empregando-se, pelo menos, cinco ciclos de secagem por ano. Os menores valores do índice VPL foram observados para os pequenos e médios produtores de arroz, milho e trigo. As culturas do café e feijão produzidos por grandes produtores proporcionaram os maiores VPL (Fig. 2), indicando maior receita gerada por estes investimentos em comparação aos demais. Os principais contribuintes para esses resultados foram os preços de venda de grãos e volumes de grãos a serem secos. Isso está bem demonstrado no caso particular do arroz e do trigo, que resultou em valores médios de VPL de R\$ 3,7 e 4,4 milhões, respectivamente. Os preços de venda desses produtos são maiores que os do milho e menores que os dos outros tipos de grãos, e o arroz é cerca de 18,2% mais caro que o trigo. No entanto, considerando a mesma capacidade de secagem, é possível secar um volume de trigo, aproximadamente, 26,6% maior que o do arroz, devido às suas densidades de massa (Tabela 4). Geralmente, os grandes secadores foram responsáveis por maiores índices de VPL para um mesmo tipo de grão, e grãos de alto custo resultavam em maiores receitas ao longo do horizonte de planejamento do projeto.

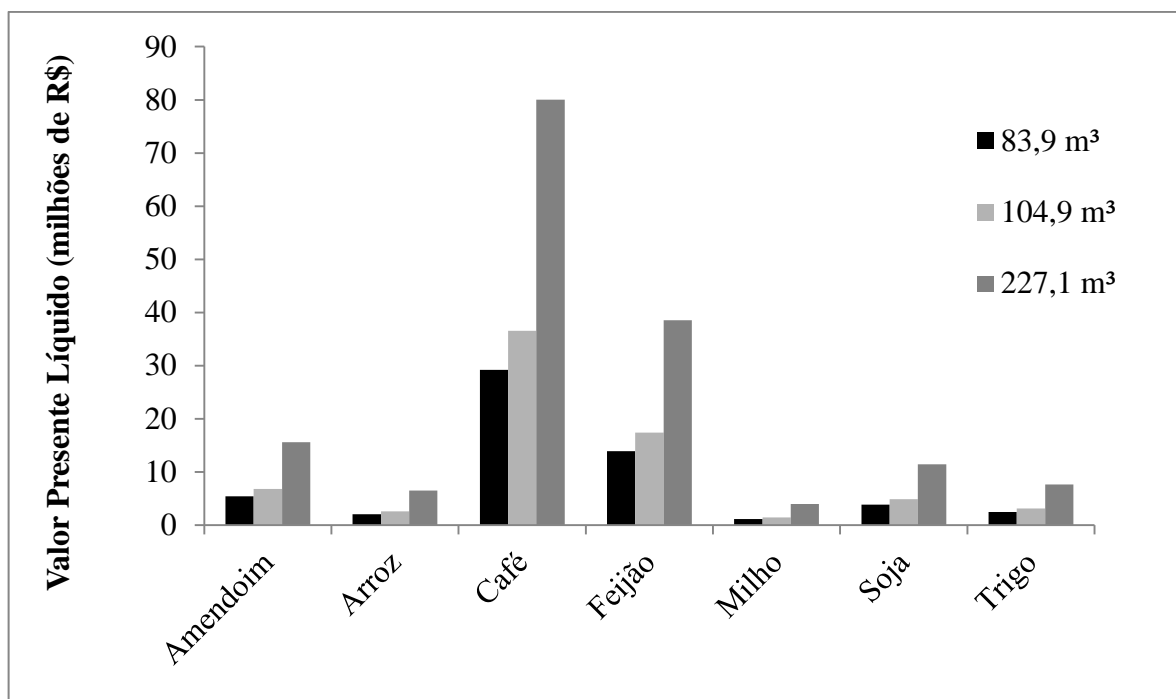


Fig. 2. Valor presente líquido (VPL) médio dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade (83,9 m³), média capacidade (104,9 m³) e alta capacidade (227,1 m³).

Na Fig. 3 encontram-se os valores médios de RBC considerando-se os diferentes tipos de grãos e capacidades de secagem. Nos cenários avaliados, os valores da RBC variaram entre 2,8 e 127,9, sendo os menores valores observados para as culturas do arroz, milho e trigo. Isso demonstra menor rentabilidade destes investimentos, devido ao baixo preço de venda destes produtos. Dentre as demais culturas, o café se destacou com os maiores valores de RBC, principalmente, devido ao alto valor econômico deste produto, seguida pela cultura do feijão.

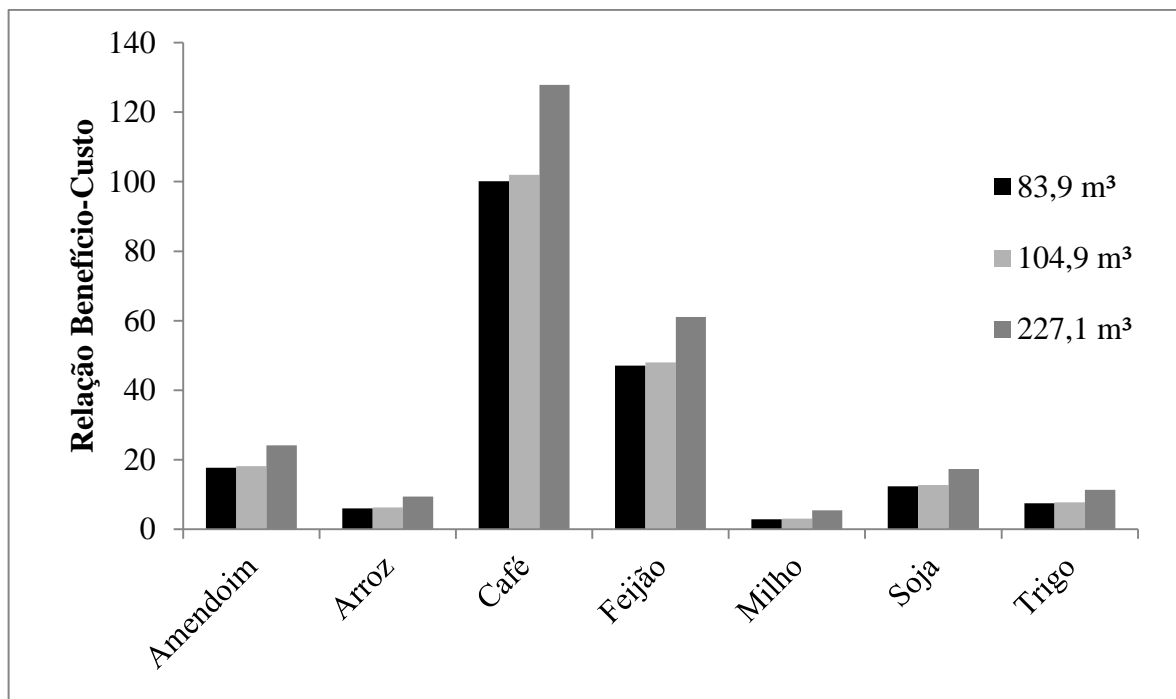


Fig. 3. Relação benefício-custo (RBC) média dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade ($83,9 \text{ m}^3$), média capacidade ($104,9 \text{ m}^3$) e alta capacidade ($227,1 \text{ m}^3$).

Seguindo a tendência do VPL e RBC, a TIR variou entre 27,2 e 100%, sendo os maiores índices observados nas culturas do amendoim, café e feijão, para todas as capacidades de secagem. As culturas do arroz e do milho apresentaram os menores índices da TIR para todas as capacidades de secagem. Em todos os cenários, a TIR foi superior à taxa mínima de atratividade de 7%, recomendada por Marquezan (2006) e Mugabi & Driscroll (2016), que representa o mínimo que o investidor se dispõe a ganhar pelo capital investido no sistema de secagem. Na Fig. 4 encontram-se os valores médios da TIR para os cenários simulados, considerando-se os diferentes tipos de grãos e capacidades de secagem.

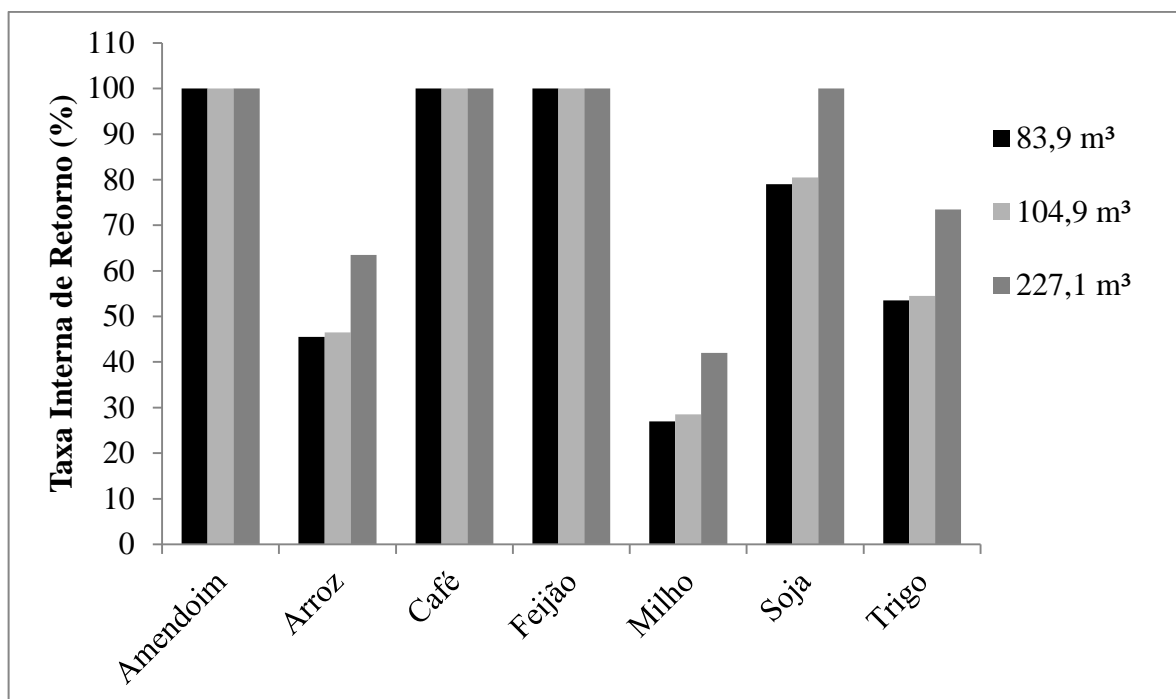


Fig. 4. Taxa interna de retorno (TIR) média dos cenários simulados considerando secadores de baixa capacidade (83,9 m³), média capacidade (104,9 m³) e alta capacidade (227,1 m³).

Dentre os 42 cenários simulados, 20 apresentaram um TRC imediato, destacando-se os grãos de amendoim, café e feijão para todas as capacidades de secagem. O elevado preço de venda destes grãos no Brasil contribuiu para a recuperação imediata do capital investido, tornando o investimento mais rentável e seguro. Nos demais cenários, os valores do TRC variaram entre 1,5 ano, para os produtores de trigo, e 3,5 anos para os produtores de milho, indicando que quanto maior o TRC, maior será o tempo em que o capital investido no sistema ficará comprometido. Ainda assim, os valores obtidos neste estudo corresponderam a menos de um quinto do horizonte de planejamento, indicando a secagem em altas temperaturas como um investimento lucrativo e de baixo risco.

As variáveis que mais influenciaram nos resultados foram o preço de venda dos produtos e o volume de grãos a ser seco. Produtos com maior valor econômico como o café, amendoim e feijão tornam o investimento mais rentável, devido à maior receita gerada durante o horizonte de planejamento estabelecido. Por outro lado, investimentos feitos com culturas de menor valor agregado, como o arroz e o milho, requerem um período maior para recuperar o capital investido sendo, portanto, menos rentáveis. O volume de grãos a ser seco também foi uma variável importante para todas as culturas, pois a implantação de secadores

com maior capacidade de secagem se mostrou economicamente mais viável que os demais, mesmo apresentando custo inicial superior. Isso, possivelmente, pode ser justificado pelos custos fixos associados ao processo, ou seja, aqueles que independem da quantidade de grãos a ser seco, ou da intensidade do uso do sistema, como seguros, impostos, juros sobre o capital investido e mão-de-obra (Sobrinho, 2001).

Uma variável de grande impacto na composição dos custos do investimento é o valor inicial necessário para a implantação do sistema. Dentre os métodos de secagem artificial, a secagem com altas temperaturas é um dos métodos mais caros, devido à alta tecnologia empregada nestes sistemas. Comparando este capital inicial com o requerido pelos sistemas de secagem a baixa temperatura, observa-se uma diferença média de 67% (Jasper et al., 2006, POLIDRYER, 2018, COMIL, 2018, Kepler-Weber, 2018). Outros custos associados ao processo de secagem são energia elétrica e mão-de-obra que, neste trabalho, não foram elevados quando comparados aos outros custos do sistema, devido ao reduzido tempo de funcionamento do sistema de secagem.

O tipo de combustível utilizado para a alimentação da fornalha não interferiu consideravelmente nos índices econômicos quando apenas esta variável foi avaliada nos cenários simulados. Apesar do grande volume de lenha usado na secagem, o seu valor comercial no Brasil é baixo, fato que explica a pequena variação nos custos da secagem quando este foi comparado à palha/casca do grão produzido. Ressalta-se que os custos associados ao combustível, tanto lenha quanto resíduos culturais, podem aumentar, dependendo da região de operação ou época do ano, uma vez que nas análises não foram considerados o frete e a mão-de-obra necessária para o manuseio deste material durante o processo de secagem.

Entretanto, vale ressaltar a importância do uso dos resíduos culturais como combustíveis na secagem de grãos. Esses materiais são produzidos em grande quantidade e estão prontamente disponíveis para serem usados, além de serem altamente eficientes na produção de calor, apresentando, em alguns casos, um PCI superior ao da lenha. Além disso, a biomassa também se destaca pelas menores taxas de emissão de carbono, contribuindo para uma agricultura mais sustentável, como observado por Lim et al. (2012) e Bilandzija et al. (2018). Outra vantagem do uso de resíduos agrícolas como combustível das fornalhas durante a secagem de grãos é que esta prática não afeta prejudicialmente o manejo agrícola tradicional, como preparo do solo, aquecimento e alimentação de animais. De acordo com

Wang e Mendelsohn (2003), 15% dos resíduos da lavoura em campo são suficientes para proporcionar uma adequada fertilização e proteção do solo, enquanto 25% são geralmente utilizados para alimentação de animais e matérias-primas industriais. As simulações realizadas neste estudo mostraram que cerca de 1,9; 2,8; 3,3; 3,5; 3,5; 3,8 e 8,75% da biomassa das plantações foi necessária como combustível de fornalhas para secagem em alta temperatura de café, feijão, soja, trigo, arroz, milho e amendoim, respectivamente. Em todos esses casos, a disponibilidade de resíduos foi garantida para outras práticas agrícolas.

A combustão da lenha, geralmente, é incompleta, não liberando toda energia química disponível, além de emitir monóxido de carbono, particulados e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) (Lima et al., 2017). Os HPAs são compostos formados durante a pirólise de alguns materiais orgânicos que, além de serem considerados poluentes ambientais por terem a característica de não serem biodegradáveis, também podem interferir na função normal do DNA, sendo potencialmente carcinogênicos e/ou mutagênicos (Kao et al., 2012).

Outras variáveis importantes também influenciaram a análise econômica, como consumo de energia, tempo de secagem e quantidade de combustível requerido pela fornalha. Esses parâmetros variaram com o tipo de grão, tamanho do secador e tipo de combustível usado. O consumo médio de energia foi de 18,39; 29,42 e 55,16 kW para os secadores pequenos, médio e grandes, respectivamente, variando em função do tamanho do secador e do tipo de grão. Os tempos médios simulados para a secagem variaram conforme o tipo de grão e foram 1,14; 1,54; 1,09; 2,57; 2,55; 1,59 e 2,98 h para o amendoim, arroz, café, feijão, milho, soja e trigo, respectivamente. A quantidade de combustível requerido para a secagem dos grãos foi influenciada por todos os parâmetros estudados, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5. Quantidade de combustível requerida na fornalha (kg).

Grão	Secador					
	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande
	Quantidade de lenha (kg)			Quantidade de palha (kg)		
Amendoim	970,27	1213,13	2626,33	975,54	1219,71	2640,58
Arroz	1311,23	1639,43	3548,24	1062,92	1328,96	2877,10
Café	927,29	1159,39	2509,98	775,93	970,15	2100,29
Feijão	2180,38	2726,13	5901,85	2019,97	2525,56	5467,64
Milho	2162,85	2704,20	5854,38	1584,87	1981,55	4289,91
Soja	1355,33	1694,56	3668,59	1204,01	1505,37	3259,01
Trigo	2535,59	3170,24	6863,31	2652,14	3315,97	7178,80

4. Conclusões

Todos os cenários simulados mostraram-se economicamente viáveis e de baixo risco, desde que operando pelo menos cinco ciclos de secagem por ano, destacando-se o café e o feijão nos sistemas com capacidade de secagem alta (227,1 m³), que proporcionaram os maiores valores de VPL, RBC e TIR. Os menores índices foram observados para arroz e milho, indicando menor rentabilidade destes investimentos.

Os fatores que mais influenciaram na viabilidade econômica do investimento foram o tipo de grão, o volume de produto a ser seco e o investimento inicial. Grãos com maior valor de mercado e sistemas com maior capacidade de secagem foram mais rentáveis ao final do horizonte de planejamento.

O tipo de combustível usado na fornalha para a secagem dos grãos foi o que menos impactou nos índices avaliados. Entretanto, o uso da biomassa como combustível é mais recomendado que o uso da lenha, devido aos impactos ambientais causados pela remoção desse material de florestas nativas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os cenários simulados mostraram-se economicamente viáveis tanto para os sistemas de secagem com alta quanto com baixa temperatura. Nos sistemas com baixa temperatura foram necessários, no mínimo, dois ciclos de secagem para que os investimentos em todas as capacidades de secagem fossem economicamente viáveis. Nos sistemas de secagem com alta temperatura, a viabilidade econômica só foi atingida realizando-se, no mínimo, cinco ciclos de secagem por ano. Essa diferença pode ser explicada pelo maior capital inicial necessário para a implantação de secadores com altas temperaturas, haja vista que este é um dos métodos mais caros, devido à alta tecnologia empregada nestes sistemas.

Em ambos os sistemas, os fatores que mais influenciaram na viabilidade econômica do investimento foram o tipo de grão e o volume de produto a ser seco. Grãos com maior valor de mercado e sistemas com maior capacidade de secagem foram mais rentáveis ao final do horizonte de planejamento estabelecido. Nos sistemas de secagem com altas temperaturas, o valor inicial para aquisição dos secadores também impactou, de forma considerável, a composição dos custos do investimento, com uma diferença média de 67% em comparação com o capital inicial requerido pelos sistemas com baixas temperaturas.

O tipo de combustível usado nas fornalhas não interferiu de forma significativa nos índices econômicos avaliados. Entretanto, o uso de resíduos culturais como combustíveis para a secagem é amplamente recomendado, devido aos seus benefícios ambientais, bem como grande quantidade produzida e disponibilidade para uso imediato.

6. REFERÊNCIAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. Disponível em: <http://abic.com.br/cafe-com/historia/>. Acesso em Novembro de 2018.
- Afonso Júnior, P. C., Filho, D. O., Costa, D. R., 2006. Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. *Engenharia Agrícola*, 26:28-35.
- Andrade, E. B., Sasseron, J. L., 1984. Oliveira Filho, D. Princípios sobre combustíveis, combustão e fornalhas. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 39 p.
- Araújo, W. D., Goneli, A. L. D., Souza, C. M. A., Gonçalves, A. A., Vilhasanti, H. C. B., 2014. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 279–286.
- Bakker–Arkema, F. W.; Silva, J. S., Mwaru, E. R., 1980. Testing of the shivers in-bin counterflow dryer-special report East Lansing, Michigan, Michigan State University, 18 p.
- Balloni, A. E., Migliorini, A. J., Brito, J. O., 1980. IPEF. Produção de energia através de florestas de rápido crescimento. São Paulo.
- Banco do Brasil. Disponível em http://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/voce/produtos-e-servicos/cartoes/beneficios/contratos-e-tabelas#/. Acesso em setembro de 2017.
- Biagi, J. D.; Bertol, R., 2002. Secagem de Grãos. In: Seminário Armazenamento e Preparo de Grãos, 2002, Piracicaba - SP. Anais Armazenamento e Preparo de Grãos - SBOG, 1, 1-15.
- Bilandzija, N., Voca, N., Jelcic, B., Jurisic, V., Grubor, M., Kricka, T., 2018. Evaluation of Croatian agricultural solid biomass energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93, 225–230.
- Braga, R., 1995. Fundamentos e técnicas de administração financeira. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1995.
- Brom, L. G., Balian, J. E. A., 2007. Análise de investimentos e capital de giro: conceitos e aplicações. São Paulo: Saraiva.
- Brooker, D. B.; Barker-Arkema, F. W.; Hall, C. W., 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. 1 ed. New York: AVI Book, 468 p. (Capítulos 9 e 10).
- Cardoen, D., Joshi, P., Diels, L., Sarma, P. M., Pant, D., 2015. Agriculture biomass in India: Part 1. Estimation and characterization. *Resources, Conservation and Recycling* 102, 39–48.
- CASP. Catálogo de fabricante. Disponível em <http://www.casp.com.br/armazenagem-de-graos/silos-armazenadores>. Acesso em Setembro de 2017.
- CEMAR – Companhia Elétrica do Maranhão, 2018. Disponível em <http://www.cemar116.com.br/home>. Acesso em Março de 2018.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, 2018. Disponível em <http://www.cemig.com.br/pt-br/Paginas/default.aspx>. Acesso em Março de 2018.
- Cheevitsopon, E., & Noomhorm, A., 2011. Effects of parboiling and fluidized bed drying on the physicochemical properties of germinated brown rice. *International journal of food science & technology*, 46(12), 2498-2504.
- Chen, C., 2000. Factors that affect equilibrium relative humidity of agricultural products. *Transactions of the ASAE*. 43, 673-683.
- Chung, G., Singh, R. J., 2008. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, 27(5), 295-341.
- COMIL – Comil Silos e Secadores Ltda. Disponível em <http://www.comil.com.br/>. Acesso em Julho de 2018.

- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do milho: análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2007 a 2017. Compêndio de estudos Conab, 14, 2018b.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/custosproducaometodologia.pdf>. Acesso em Junho de 2018.
- Coradi, P. C., Fernandes, C. H. P., Helmish, J. C., 2016. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 20(4), 385-392.
- Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., Gomez, E. O., 2008. *Biomassa para energia*. Campinas, SP: Editora UNICAMP.
- ELETROPAULO - Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A., 2018. Disponível em <https://www.aeseletropaulo.com.br/Paginas/aes-eletropaulo.aspx>. Acesso em março de 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção, Versão Eletrônica, 5ª edição*, 2009. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/index.htm
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016*. Rio de Janeiro, 2017.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Nota Técnica DEA 15/14 – Inventário Energético de Resíduos Rurais*. Rio de Janeiro, 2014.
- Fasina, O. O., 2008. Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Tehnology*, 99, 1259-1266.
- Filho, E. F., Gottarde, R., Dionello, R. G., 2010. Custos da secagem intermitente de grãos de milho submetidos a três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80°C). *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, 16(1 e 2), 17-21.
- Flandrin, J. L., Montanari, M., 1998. (Dir.). *História da alimentação*. São Paulo: Estação Liberdade.
- Freire, A. T. 1998. *Projeto e avaliação de um sistema de secagem combinado de café (coffea arábica L.) despulpado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Viçosa: UFV, 98 p.
- Furquim, L. C., Castro, C. F. S., Resende, O., Campos, J. M. C., Cabral, A. L., Furquim Filho, C. S., 2014. Efeito da secagem e do armazenamento das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) na qualidade do óleo. *Revista Científica*. 1.
- Gaban, A. C., Morelli, F., Brisola, M. V., Guarnieri, P., 2017. Evolução da produção de grãos e armazenagem: perspectivas do agronegócio brasileiro para 2024/25. *iGepec*, Toledo, 21 (1), 28-47, jan./jun.
- Gerald, C. F., Weatley, P. O., 1984. *Applied Numerical Analysis*. California: Addison-Wesley Publishing Compan. 579p.
- Gitman, L. J., 2004. *Princípios de administração financeira*. 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley.
- Guia Trabalhista. <http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>. Acesso em Setembro de 2017.
- Hawk, A. L., Noyes, R. T., Westelaken, C. M Poster, C.H., Bakker-Arkema, F. W., 1978. The present status of commercial grain drying. *St. Joseph, Michigan, ASAE*, 30 p. (Paper 78-3008).
- Hirakuri, M. H., Lazzarotto, J. J., 2014. *O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro*. Documentos 349. Londrina: Embrapa Soja.
- ICO – Internacional Coffee Organization, 2018. Disponível em: <http://www.ico.org/>. Acesso em Novembro de 2018.

- IEA - Instituto de Economia Agrícola, São Paulo.
<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>. Acesso em Setembro de 2017.
- Jasper, S. P., Biaggioni, M. A. M., Ribeiro, J. P., 2006. Viabilidade econômica de aquisição de um silo-secador para pequenas áreas de produção. *Engenharia Agrícola Jaboticabal*. 26(3), 795-803.
- Jokiniemi, H. T., Ahokas, J. M., 2014. Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. *Biosystems Engineering* 121, 209-220.
- Jones, C., Casada, M., Loewer, O., 2012. Drying, handling, and storage of raw commodities. In: Hagstrum, D.W. et al. (Eds.), *Stored Product Protection*. Kansas State University, Kansas, 179-190 (Capítulo 10).
- Juliano, B. O., 1993. *Rice in human nutrition*. Rome. FAO.
- Kao, T. H., Chen, S., Chen, C. J., Huang, C. W., & Chen, B. H., 2012. Evaluation of analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons by the QuEChERS method and gas chromatography mass spectrometry and their formation in poultry meat as affected by marinating and frying. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 1380–1389.
- Kassai, J. R., Kassai, S., Santos, A., Assaf Neto, A., 2000. *Retorno de Investimento: Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial*. São Paulo: Atlas.
- Kepler Weber. Disponível em <http://www.kepler.com.br/>. Acesso em Julho de 2018.
- Klautau, J. von P., 2008. *Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Curitiba, 193p.
- Lawrence, J., Atungulu, G. G., Siebenmorgen, T. J., 2015. Modeling in-bin rice drying using natural air and controlled air drying strategies. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 58(4), 1103-1111.
- Lim, J. S., Manan, Z. A., Alwi, S. R. W., Hashim, H., 2012. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16, 3084– 3094.
- Lima, R. F., Dionello, R. G., Peralba, M. C. R., Barrionuevo, S., Radunz, L. L., Reichert Júnior, F. W., 2017. PAHs in corn grains submitted to drying with firewood. *Food Chemistry*. 215, 165–170.
- Lopes, D. C., 2002. *Sistema computacional de análises técnica e econômica para adequação de força motriz*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Viçosa: UFV, 139 p.
- Lopes, D. C., Neto, A. J. S., Mendes, A. A., Pereira, D. T. V., 2013. Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. *Energy Economics*. 40, 819-824.
- Lopes, D. C., Steidle Neto, A. J., 2017. Preliminary Economic Study of Biodiesel Production from Pequi in Brazil. *Open Access J Sci* 1(5): 00027.
- Lopes, D. C., Steidle Neto, A. J., Mendes, A. A., Pereira, D. T. V., 2013. Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. *Energy Economics*. 40, 819-824.
- Lopes, R. P., Sobrinho, J. C., Silva, J. S., Silva, J. N., 2001. Fontes de energia para secagem de café. *Engenharia na agricultura*. Viçosa, MG. 26 p. (Boletim Técnico, 3).
- Macêdo, M. H. G. de., 2007. *Amendoim: proposta de preço Mínimo - safra 2006/2007*. Brasília: CONAB. p. 63-73.
- Mansor, H., Mohd Noor, S. B., Raja Ahmad, R. K., Taip, F. S., Lutfy, O. F., 2010. Intelligent control of grain drying process using fuzzy logic controller. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 8(2): 145-149.
- Marquezan, L. H. F., 2006. *Análise de Investimentos*. Revista Eletrônica de Contabilidade. 3(1). Janeiro – Junho.
- Melo, E.C., Lopes, D.C., Corrêa, P.C., 2004. Grapsi – Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. *Engenharia na Agricultura*. 12(2), 154–162.

- Mugabi, R., Driscoll, R., 2016 Study of Maize Drying in Uganda Using an in-Store Dryer Weather Data Simulation Software. *International Journal of Food Processing Technology*. 3(1).
- Muir, W. E., 2000. Grain preservation biosystems. University of Manitoba. Winnipeg, Manitoba. 429 p.
- Nourbakhsh, S. M., Bai, Y., Maia, G. D. N., Ouyang, Y., Rodriguez, L., 2016. Grain supply chain network design and logistics planning for reducing post-harvest loss. *Biosystems Engineering*. 151, 105-115.
- Odjo, S., Bera, F., Beckers, Y., Foucart, G., & Malumba, P., 2018. Influence of variety, harvesting date and drying temperature on the composition and the in vitro digestibility of corn grain. *Journal of Cereal Science*, 79, 218-225.
- Oliveira, V., 2014. Avaliação energética e econômica da secagem de grãos utilizando secador de coluna com caldeira aquatubular. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Cascavel: UNIOESTE. 83 p.
- Pavão, A. R., Ferreira Filho, J. B. S., 2011. Impactos econômicos da introdução do milho Bt11 no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 49(1). Brasília Jan./Mar.
- Penedo, R. da C., 2005. A Taxa interna de retorno na análise de investimentos. Brasília: Lettera.
- Pinto, M.M., Olinquevitch, J.L., Theodoro, A.J., Morozini, J.F., Guth, S.C., Fassina, P.H., 2006. Análise de viabilidade econômica de projetos de investimento: métodos utilizados em empresas fabricantes de balas do Estado do Rio Grande do Sul. XIII Congresso Brasileiro de Custos: Belo Horizonte – MG.
- Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Rahim, N. A., 2014. A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 31, 133–148.
- POLIDRYER, 2018. Projeto de sistemas de secagem. Disponível em <http://www.polidryer.com.br>. Acesso em fevereiro de 2018.
- Portella, J. A.; Martins, R. R. 2000. Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo. Passo Fundo: Embrapa, 11 p. (Circular técnica, 7).
- Reinato, C. H. R., Borém, F. M., Vilela, E. R., Carvalho, F. M., Meireles, E. de P., 2002. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 6(1), 112-116.
- Reis, R. P., Richetti, A., Lima, A. L. R., 2005. Eficiência econômica na cultura do café: um estudo no sul de Minas Gerais. *Organizações Rurais e Agroindustriais*. Lavras. 7(1), 50-59.
- Ribeiro, J. P., Biaggioni, M. A. M., 2006. Avaliação econômico-energética da secagem combinada de milho. *Energia na Agricultura*. 21, 36-54.
- Salim, C. S., 2004 Administração empreendedora: teoria e prática usando estudos de casos. Rio de Janeiro: Campus.
- Sampaio, C. P., 2004. Desenvolvimento de um secador com reversão do fluxo de ar com sistema de movimentação pneumática de grãos. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Viçosa: UFV, 97 p.
- Sampaio, R. M., 2018. Análise de indicadores do agronegócio. Instituto de Economia Agrícola. 13(3). Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-13-2018.pdf>. Acesso em Novembro de 2018.
- Sater, O., Souza, N. D., Oliveira, E. A. G., Elias, T. F., Tavares, R., 2011. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. *Revista Ceres*, Viçosa. 58(6), 717-722, nov/dez.

- Sharon, M., E.P. Priya, and S. Subhashini.,2016. Thin layer and deep bed drying basic theories and modelling: a review. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 18(1), 314-325.
- Silva, A. C., Lima, E. P. C., Batista, H. R., 2011. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. Disponível em: [http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sessoes_tematicas/Economia rural e agricultura familiar/A IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO.pdf](http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sessoes_tematicas/Economia_rural_e_agricultura_familiar/A_IMPORTANCIA_DA_SOJA_PARA_O_AGRONEGOCIO_BRASILEIRO.pdf). Acesso em Novembro de 2018.
- Silva, J. S. (Ed.), 2009. *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil. 560 p.
- Silva, J. S., 2001. *Secagem e armazenagem de café: tecnologias e custos*. 1 ed. Viçosa: Jard Editora LTDA, 162 p.
- Singh, C. B., Jayas, D. S., Larson, R., 2014. Assessment of fan control strategies for in-bin natural air-drying of wheat in Western Canada. *Canadian Biosystems Engineering*, 56, 3.25-3.36.
- Singh, J., 2016. Identifying an economic power production system based on agricultural straw on regional basis in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 60, 1140–1155.
- Sobrinho, J. C., 2001. *Simulação e avaliação de sistemas de secagem de café*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Viçosa: UFV, 132 p.
- Steidle Neto, A. J., Lopes, D. C., 2015. Thermistorbased system for grain aeration monitoring and control. *Computers and Electronics in Agriculture*. 116, 45–54.
- Torres, M. A. P., 2006. *Desempenho de diferentes métodos de secagem e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sorgo granífero (Sorghum bicolor (L.) Moench)*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Porto Alegre: UFRS, 122p.
- Tosto, S. G., Wander, A. E., Pereira, L. C., Mangabeira, J. A. de C., Coelho, G. C., 2012. Diagnóstico socioeconômico da cultura do feijão no Brasil. *Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite*, 2012. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/959522>. Acesso em Novembro de 2018.
- Tsai, W. T., Liu, S. C., Hsieh, C. H., 2012. Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 93, 63–67.
- USDA - United States Department Of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Production, supply and distribution online: custom query. USA 2009. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. Acesso em Outubro de 2018.
- Valente, D. S. M., Queiroz, D. M., Correa, P. C., Silva, L. C., Vale, S. M. L. R., 2011. A decision support system for cost determination in grain storage facility operations. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 31(4), 735-744.
- Vieira, C., 2006. *Cultura do feijão*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 146 p.
- Villela, F. A., 1991. *Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho*. 104 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Wang, X., Mendelssohn, R., 2003. An economic analysis of using crop residues for energy in China. *Environment and Development Economics* 8, 467-480.
- Weber, E. A., 2005. *Excelência e armazenamento de grãos*. Canoas, RS: Editora Salles.