

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL**

**YASMIM CECILIA MOTTA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA  
UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA NA CIDADE DE COIMBRA- MG**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2021**

**YASMIM CECILIA MOTTA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA  
UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA NA CIDADE DE COIMBRA- MG**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências para a obtenção de Bacharel em  
Agronegócio.

Orientador: Prof. Roberto Max Protil

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2021**

**YASMIM CECILIA MOTTA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA  
UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA NA CIDADE DE COIMBRA- MG**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências para a obtenção de Bacharel em  
Agronegócio.

Orientador: Prof. Roberto Max Protil

APROVADA: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021

---

Yasmim Cecilia Motta Silva

Autora

---

Roberto Max Protil

Orientador

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2021**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pelo dom da vida, por proporcionar a mim sabedoria e coragem, me conduzindo com as devidas lições de amor, fraternidade e compaixão, hoje e sempre.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Eurides e Jorge, meus irmãos, Jefferson e Yago, minha vó, dona Gilda, que entenderam as minhas ausências e não mediram esforços para esse sonho tornar-se realidade, sempre com muito amor, carinho e orações.

Ao meu querido esposo, Felipe, que com muito carinho, amor e paciência ajudou-me a enfrentar meus maiores medos, me dando força e confiança para seguir em frente, dia após dia. A ele toda a minha gratidão, por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, professor Roberto Protil, que com muita paciência e zelo, soube me conduzir no processo de escrita deste trabalho, sempre com muita dedicação e sabedoria.

A minha amiga Bárbara Garcia, por ter assumido o papel de irmã, mãe, melhor amiga, conselheira. Por ter sido minha companheira de almoço, de cafés, de risadas e choros, por dividir todo o tipo de experiência que pude vivenciar na universidade e na vida.

Agradeço ao meu amigo Maciel, pelos anos de amizade, pelos cafés e pelo apoio emocional e por me incentivar na área da cafeicultura.

Aos meus amigos do curso de Agronegócio, em especial o Dailson, a Bárbara, o Luciano, o Rafael, o Marquinho, a Júlia e a Rafaela, por compartilharem comigo memórias inesquecíveis e momentos de grandes risadas.

Agradeço às minhas amigas de república, em especial a Karol, Fernanda, Roberta, Letícia, que além de dividirem as contas comigo, fizeram com que nossa casa fosse um lar, com grandes momentos de alegrias e risadas.

Agradeço a Igreja Presbiteriana de Viçosa (IPV), pelo acolhimento e pelos irmãos na fé.

Agradeço aos meus professores do DER - Departamento de Economia Rural, pelos ensinamentos passados ao longo dos anos e dedicação para o mesmo. Agradeço também aos profissionais que trabalham na organização, limpeza e manutenção do departamento.

Por fim, agradeço a UFV por ser a melhor universidade do Brasil. Pelas inúmeras lembranças que levarei para sempre, junto ao meu coração!

## RESUMO

A competitividade dentro do agronegócio cresce de forma significativa, tornando essencial a tomada de decisão dos pequenos produtores rurais, buscando diferenciais no mercado a fim de garantirem sua sobrevivência. O objetivo deste trabalho foi definir a maximização da rentabilidade financeira de um pequeno produtor rural no município de Coimbra, Minas Gerais, que produz café, milho e feijão, para o horizonte de planejamento de 15 anos, por meio da Programação Linear utilizando o *GNU Linear Programming Kit* (GLPK). Por meio do *online-optimizer*, foi possível chegar em uma solução ótima de lucro no valor de R\$ 571.019,46. Por meio da análise de sensibilidade, verificou-se que a área de plantio é um recurso escasso desse sistema produtivo. Foi possível extrair informações relevantes ao produtor, como, o momento em que a nova área passa a ter receita, qual a receita anual, permitindo um melhor planejamento de novos investimentos e a possibilidade de alocar mais recursos, seja no valor investido, ou na expansão da área disponível. O trabalho mostrou que a pesquisa operacional é uma ferramenta poderosa mesmo para pequenas propriedades, trazendo resultados difíceis de se encontrar sem o auxílio dela. Também contribuiu para desmistificar um conceito local onde se acredita que a maximização do lucro estava relacionada ao plantio de café o mais cedo possível e na maior área possível.

Palavras-chaves: agronegócio; otimização; planejamento rural; análise de sensibilidade; programação linear.

## **ABSTRACT**

Competitiveness within agribusiness grows significantly, making decision-making essential for small rural producers, seeking market differentials in order to ensure their survival. The objective of this work was to define the maximization of the financial profitability of a small rural producer in the city of Coimbra, Minas Gerais, which produces coffee, corn and beans, for a 15-year planning horizon, through Linear Programming using GNU Linear Programming Kit (GLPK). Through the online-optimizer, it was possible to reach an optimal profit solution in the amount of R\$571,019.46. Through sensitivity analysis, it was found that the planting area is a scarce resource in this production system. It was possible to extract relevant information to the producer, such as when the new area starts to have revenue, what is the annual revenue, allowing for better planning of new investments and the possibility of allocating more resources, whether in the amount invested, or in expansion of the available area. The work showed that operations research is a powerful tool even for small properties, bringing results that are difficult to find without its assistance. It also contributed to demystifying a local concept where profit maximization was believed to be related to planting coffee as early as possible and in the largest possible area.

**Key words:** agribusiness; optimization; rural planning; sensitivity analysis; linear programming.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de tomada de decisão .....	18
Figura 2 - Tela inicial traduzida da ferramenta online-optimizer .....	18
Figura 3 - Guia Modelo online-optimizer .....	19
Figura 4 - Guia Visão geral do modelo traduzido, online-optimizer .....	19
Figura 5 - Guia Visão geral do modelo traduzido, online-optimizer .....	20
Figura 6 - Guia Visão geral do modelo traduzido, online-optimizer .....	20
Figura 7 - Guia Visão geral do modelo traduzido, online-optimizer .....	20
Figura 8 - Guia Visão geral do modelo traduzido, online-optimizer .....	20
Figura 9 - Mapa da propriedade .....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relatório financeiros nos anos de 2019 e 2020 .....	22
Tabela 2 - Relatório financeiros nos anos de 2019 e 2020 .....	23
Tabela 3 - Relatório financeiros nos anos de 2019 e 2020 .....	24
Tabela 4 - Custos de implantação de uma lavoura cafeeira .....	24
Tabela 5 - Área disponível para plantio .....	25
Tabela 6 - Custo de produção por hectare de área plantada .....	27
Tabela 7 - Preço médio da venda da saca .....	28
Tabela 8 - Quantidade de Sacas produzidas por hectare .....	28
Tabela 9 - Custo de implantação e manutenção do café .....	29
Tabela 10 - Tabela de resultado das variáveis de decisão .....	33

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1. AGRONEGÓCIO NO BRASIL.....	11
3.2. Agronegócio no estado de Minas Gerais.....	12
3.3. Pesquisa operacional no planejamento da propriedade rural familiar.....	14
3.4. Atividades agrícolas.....	15
3.4.1. Café.....	15
3.4.2. Milho e feijão.....	16
4. METODOLOGIA.....	18
4.1. Software utilizado.....	18
5. OBJETO DE ESTUDO.....	21
5.1. Localização da área.....	21
5.2. Caracterização da área.....	21
6. DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	26
6.1. Variáveis de decisão.....	26
6.1.1. Variáveis do plantio Feijão.....	26
6.1.2. Variáveis do plantio Café.....	26
6.1.3. Variáveis de Investimento.....	27
6.2. Constantes.....	27
6.2.1. Custo de produção total por hectare.....	27
6.2.2. Preço médio de venda da saca.....	28
6.2.3. Custo de implantação e manutenção do café.....	29
6.3. Faturamento e custo operacional total.....	29

6.3.1. Milho e feijão.....	29
6.3.2. Café.....	29
6.4. Função Objetivo .....	30
6.5. Restrições.....	30
6.5.1. Restrições de não-negatividade .....	30
6.5.2. Restrições de área .....	31
6.5.3. Restrições de investimento .....	32
6.5.4. Restrições de custo operacional.....	32
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	33
8. CONCLUSÃO.....	35
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
ANEXO - DEFINIÇÃO DO MODELO - PARTE 1 .....	38
ANEXO - DEFINIÇÃO DO MODELO - PARTE 2 .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio cresceu 2,06% em dezembro de 2020 e fechou o ano com uma expansão acumulada de 24,31% em comparação com 2019, segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea).

Todos os segmentos da cadeia produtiva do agronegócio brasileiro obtiveram uma alta em 2020, com destaque para o setor primário, que engloba as atividades dentro da porteira, cerca de 56,59%, seguido por agrosserviços (20,93%), agroindústria (8,72%) e insumos (6,72%). (Cepea, 2020).

Esses valores, podem ser atribuídos ao fato de as cadeias produtivas serem formadas por uma ampla variedade de organizações, desde grandes multinacionais dos setores de processamento e distribuição, até médias ou pequenas empresas ligadas à produção rural, sendo elas formadas por cooperativas ou empresas familiares de diferentes tamanhos. (MACHADO FILHO, CALEMAN e CUNHA, 2017).

Se por um lado, o cenário competitivo do agronegócio vem crescendo de forma significativa, o outro lado revela que a disputa se torna desigual quando se comparado o grande e o pequeno produtor. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), o tamanho limitado compromete a viabilidade financeira dos pequenos produtores.

A inovação cria condições para uma manutenção da viabilidade econômica das propriedades familiares e sua capacidade de produzir. Contribui também para uma modernização, sendo ela por meio do uso de insumos adequados, de máquinas apropriadas e capacitação. (EMBRAPA, 2018).

Na agricultura, a análise de eficiência de unidades produtivas é de suma importância, tendo em vista que pode ser utilizada para fins estratégicos, para planejamento ou até mesmo para a tomada de decisão. Sabendo que a agricultura é de extrema importância para todos, pois é a fornecedora de alimento no mundo todo, foi pensado neste estudo para contribuir com conhecimento para essa área do agronegócio. Sob este contexto formula-se o seguinte problema: Como utilizar da pesquisa operacional para aumentar a eficiência em uma pequena propriedade rural.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo geral

Aplicar e avaliar o uso da modelagem matemática utilizando a programação linear, visando à maximização da rentabilidade financeira em uma pequena propriedade rural.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar e analisar o processo produtivo da propriedade em estudo;
- Validar o modelo de programação linear;
- Verificar a aplicabilidade prática dos resultados obtidos.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### 3.1. AGRONEGÓCIO NO BRASIL

O agronegócio pode ser entendido como a cadeia produtiva que envolve desde a fabricação de insumos, passando pela produção nos estabelecimentos agropecuários e pela sua transformação, até o seu consumo. Essa cadeia incorpora todos os serviços de apoio: pesquisa e assistência técnica, processamento, transporte, comercialização, crédito, exportação, serviços portuários, distribuidores (dealers), bolsas, industrialização e o consumidor final. (GASQUES et al., 2004).

Os pesquisadores da Universidade de Harvard, John Davis e Ray Goldberg, introduziram o conceito de agronegócios nos anos de 1957, elucidando o termo sendo um conjunto da união de todas as ações de produção e disseminação de suprimentos agrícolas bem como seus armazenamentos, procedimentos, distribuição dos produtos agrícolas e itens gerados por eles (BATALHA; SILVA, 2001).

O agronegócio é um segmento que cresce constantemente no Brasil, atingindo grande representatividade econômica. Conforme ressalta BUAINAIN E SOUZA FILHO (2001) referindo-se ao agronegócio brasileiro, é incontestável o potencial e os efeitos confiáveis das atividades agropecuárias perante o desenvolvimento do setor contribuindo para o crescimento do país.

As exportações do agronegócio no Brasil, conforme dados divulgados em julho de 2021 pela Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio (SRI) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), atingiram US\$ 10,90 bilhões, cifra 26,7% superior aos US\$ 8,60 bilhões exportados no mesmo mês no ano de 2020.

O dinamismo expressivo do agronegócio no Brasil, tem sido um dos tópicos mais pertinentes da economia nos últimos anos, o qual destaca-se não somente no campo e indústria, mas também, nas cadeias de negócios envolvidos.

Dos principais produtos agropecuários do Brasil, nos quais somos os maiores produtores mundiais, cabe destaque para a cana-de-açúcar, que representa cerca de 17% das exportações nacionais, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), seguido do café e a laranja, que representam juntos 22%. A soja, o fumo, a carne bovina encontram-se na segunda posição internacional e o milho, produto em que o Brasil é o terceiro país em volume de produção anual.

### 3.2. Agronegócio no estado de Minas Gerais

A agricultura sempre foi importante para economia brasileira e, observando os principais produtores agropecuários por estado, é possível verificar que Minas Gerais disputa o posto de segundo maior produtor nacional com Paraná (SILVA; SOUZA; MARTINS, 2012). Segundo BASTOS (2010), a agricultura desempenha um papel fundamental no Estado de Minas Gerais, proporcionando a ele destaque entre os demais produtores nacionais.

Em 2019, segundo dados da Secretaria do Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (SEAPA, 2019), o estado apresentou uma alta participação na produção nacional dos cultivos das culturas de abacaxi, alho, café, feijão, milho, dentre outras. Tendo um maior destaque na produção de café, representando quase 52% de toda a produção do Brasil.

A diversidade do estado de Minas Gerais também deixa marcas no agronegócio. A partir de uma vocação historicamente desenvolvida e da pluralidade de condições ambientais ao longo do seu território, o setor se consolida como um dos pilares da economia do estado.

Em 2018, além de ter sido responsável por 33,2 % do PIB (Produto Interno Bruto) de Minas Gerais, o agronegócio mineiro representou 14% do PIB brasileiro do setor, totalizando R\$ 199,22 bilhões. Além disso, o estado permanece em primeiro lugar nacional em produção e exportação de café e na mesma posição em produção de leite, segundo o INDI (Agência de Promoção de Investimento e Comércio Exterior de Minas Gerais).

Assim, ao aliar tradição e inovação, Minas Gerais se consolida como um dos estados polo do agronegócio brasileiro, ao mesmo tempo em que se desenvolve rumo ao horizonte do Agro 4.0, que se refere a um conjunto de tecnologias digitais de ponta integradas e conectadas por meio de softwares, sistemas e equipamentos capazes de otimizar a produção agrícola, em todas as suas etapas.

### 3.3. Administração rural

Administrar é um fenômeno universal em todas as atividades humanas. Como arte e ciência, a administração está presente em todas as empresas e organizações. Segundo FAYOL (1989), “administrar é prever, organizar, mandar, coordenar e controlar”, porque a administração nada mais é do que saber gerenciar. Na administração rural, também são importantes o planejamento, a organização, a direção e o controle. Planejamento, para o autor, é antecipar o que se deve fazer, com que recursos e em que quantidades para que os objetivos da empresa sejam alcançados. Tal conceito é perfeitamente aplicável à empresa rural.

KAY (1983) definiu a administração rural sendo um processo de tomada de decisões, onde os recursos limitados são alocados para um número de alternativas produtivas, a fim de organizar e operar o negócio agrícola de tal forma a atingir alguns objetivos. Já a questão da gestão agrícola, segundo Chombart de Lauwe, citado por BOITEUX (1983), “é a procura da melhor combinação possível entre as atividades e os meios de produção, de maneira a obter um lucro máximo e durável”.

Mais recentemente, MICHAUD (1989) definiu a gestão agrícola como “a ciência a arte que busca a utilização racional dos fatores de produção (internos e externos), do ponto de vista técnico, econômico e social, respeitando os valores culturais do produtor rural, sua família, e ainda, suas organizações e o meio ambiente”. Essa definição representa melhor a realidade das pequenas propriedades rurais onde se desenvolve o trabalho familiar, em que o lucro nem sempre é a palavra de ordem, ao mesmo tempo em que sobrevivem relações sociais e culturais muito fortes, que extrapolam as meras relações econômicas.

HOLZ (1994) diz, enfim, que a administração rural é a ciência que ajuda o produtor a entender as suas decisões. É onde estão as informações necessárias para os técnicos ajudarem os produtores a tomar as decisões”. E complementa: "a busca da eficiência no setor agrícola faz da administração um fator de produção capaz de fazer ou quebrar o negócio. Neste caso, a administração faz o papel do cérebro, enquanto que o trabalho faz o papel de músculo. Pois na agricultura precisa-se de terra, capital, trabalho e cérebro para ser bem-sucedido.

### 3.4. Planejamento rural

A organização do espaço sempre foi uma premissa para grupos de pessoas que se propõem a viver em estado gregário, sob objetivos e normas comuns, e essa disposição e necessidade podem ser notadas desde a Antiguidade, quando já se observavam formas primitivas de planejamento (SANTOS, 2004), com vistas a garantir o futuro.

O propósito do planejamento está em lidar com a incerteza do futuro. Futuro incerto para os produtores quando não há informações suficientes sobre a concorrência, fornecedores, fontes de financiamento, tecnologia e outros segmentos relevantes do ambiente em que o empreendimento está inserido (MAXIMIANO, 2004).

Embora existam diferentes definições, planejamento é, antes de mais nada, a formulação sistemática de um conjunto de decisões, devidamente integrado, que expressa os propósitos de um indivíduo, grupo ou associação de indivíduos, e que condiciona os meios disponíveis para estes mesmos propósitos, ao longo do tempo. O planejamento é, assim, um processo dinâmico e, portanto, deve ser bem diferenciado de plano, programa e projeto, que são documentos, na forma de relatórios, contendo todas as informações necessárias à implantação, execução e controle das proposições feitas.

No planejamento, deve-se ter em conta sua:

- Viabilidade Econômica: que diz respeito aos custos e receitas envolvidos no projeto, às condições de financiamento, à capacidade de pagamento, entre outros.
- Viabilidade Técnica: isto é, o planejamento deve ser compatível com a disponibilidade de matéria-prima, de equipamentos, de know-how, de pessoal especializado etc.
- Viabilidade Política e Institucional: isto é, deve-se considerar a situação legal, a aceitabilidade do plano pelos responsáveis por sua execução e pelos que serão atingidos pelo processo.

### 3.3. Pesquisa operacional no planejamento da propriedade rural familiar

As decisões nas propriedades familiares influenciam diretamente no lucro do agricultor, que normalmente é o tomador de decisão. Eles devem planejar quais tipos de cultivos serão alocados em suas terras, a quantidade, qual tipo de fertilizante para otimizar seus custos, mão de obra, dentre outros recursos utilizados.

Tais decisões normalmente são baseadas na experiência do agricultor. Todavia, existem hoje várias técnicas para desenvolver modelos matemáticos que otimizam essas decisões,

levando em consideração diversos aspectos, como por exemplo, fatores econômicos, logísticos, sociais e ambientais.

A Programação Linear (PL) é uma ferramenta utilizada para a obtenção de resultados ótimos por meio da resolução de problemas que contenham um objetivo sujeito a restrições (CARNEIRO et al., 2017). Para tanto, utiliza-se um modelo geral que contempla: variáveis de decisão, parâmetros de entrada, função objetivo e restrições (MUROLO et al., 2010).

A PL tem o objetivo de demonstrar melhor a alocação dos recursos, como mão de obra, materiais, equipamentos e capital, com o intuito de reduzir custos e aumentar o lucro, de acordo com BATALHA (1999). Já para MOREIRA (2013), a programação linear é um modelo matemático, que foi criado para resolver problemas de variáveis que se relacionam.

### 3.4. Atividades agrícolas

As atividades agrícolas correspondem a diferentes maneiras de produção agrícola, as quais se adequam às características do ambiente no qual serão realizadas. Essas características podem ser a formação vegetal que constitui o local, as condições climáticas do ambiente, o relevo, a composição do solo e a demanda de produção existente.

Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), dentre os principais produtos brasileiros cultivados, os que possuem maior destaque são: o milho, a cana-de-açúcar, café, cacau, soja, algodão, arroz, feijão e a laranja.

#### 3.4.1. Café

O Brasil é o maior produtor e exportador de café mundial, exportando 45,6 milhões de sacas na safra 2020/21 de 60 kg em junho, gerando US\$ 423,2 milhões segundo o Cecafé (Conselho dos Exportadores de Café do Brasil). A cafeicultura brasileira tem participação ativa no crescimento econômico do país, principalmente nas principais regiões produtoras.

A atividade cafeeira vem representando um produto do agronegócio de grande importância econômica e, apesar de constantes crises, vem representando ao longo do tempo, importante fator de desenvolvimento econômico e social, principalmente para o estado de Minas Gerais. (ABRANTES, REIS e SILVA, 2008).

A bionalidade é uma constante na cultura do cafeeiro, podendo ser considerada como um fenômeno da alternância de grandes e pequenas produções ao longo do tempo. Esse fenômeno é mais pronunciado no café arábica, mas também ocorre no café conilon, normalmente com menor intensidade devido às práticas de poda e alternância de ramos plagiotrópicos produtivos.

Essa alternância bienal de produção é própria da natureza fisiológica do cafeeiro, que necessita vegetar em um ano para produzir bem no ano seguinte (RENA & MAESTRI, 1985).

O Café arábica leva dois anos para completar o ciclo fenológico de frutificação, ao contrário da maioria das plantas, que completam seu ciclo reprodutivo no mesmo ano fenológico. Nesse sentido, de acordo com CAMARGO E CAMARGO (2001), o ciclo fenológico é constituído de seis fases distintas, dessas, sendo duas vegetativas e quatro reprodutivas: 1ª Vegetação e formação de gemas foliares, 2ª indução e maturação das gemas florais, 3ª florada, 4ª granação dos frutos, 5ª maturação dos frutos, e 6ª repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários. A primeira colheita ocorre entre 24-36 meses após o plantio.

COSTA et al. (2009), nos explica que, a cultura cafeeira requer maior rigor na análise e interpretação dos resultados de custos, uma vez que, como já dito, se trata de ciclo perene, com produção bianual, grande diversidade de situações e de sistemas produtivos e com razoáveis níveis de investimentos na implantação, condução e pós-colheita.

#### 3.4.2. Milho e feijão

Dentre os cereais cultivados no Brasil, o milho é um dos mais expressivos em termos de produtividade, com cerca de 102.515 mil toneladas, em uma área de aproximadamente 19.867 mil hectares (CONAB, 2021).

A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra (ou safra de verão) e segunda safra (ou safrinha). Os plantios de verão são realizados em todos os estados, na época tradicional, durante o período chuvoso, que ocorre no final de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. Na região Nordeste, esse período ocorre no início do ano. A Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) classifica como segunda safra a safrinha propriamente dita e a safra de inverno plantada em Rondônia, Tocantins e em determinadas regiões da Bahia e de Sergipe.

Safra é o período em que o plantio é feito, geralmente com a chegada das chuvas. Para a maior parte das culturas, a safra começa em outubro por ser uma época em que a temperatura, luminosidade e umidade estão favoráveis. No caso do milho, a safra inicia-se em outubro e vai até dezembro.

O feijão comum é produzido em todas as regiões brasileiras. Entretanto, as condições de clima e solo das regiões produtoras, e as características agrônômicas da planta interferem na escolha da melhor época de semeadura.

A produção de feijão no Brasil no ano agrícola de 2020/2021, segundo a Conab foi de aproximadamente 2.856 mil toneladas. O Brasil possui três épocas distintas de plantio dentro do ano-safra, favorecendo assim uma oferta constante do produto. Dessa forma, tem-se o feijão de primeira safra semeado entre agosto e dezembro, o de segunda safra, entre janeiro e abril e o de terceira safra, de maio a julho.

O feijão é considerado de ciclo curto, assim como o milho, apresentando uma vantagem para o produtor, que consegue adequar o seu plantio dentro de uma janela menor, sem ter que renunciar à produção de outros grãos ainda no mesmo ano-safra, podendo optar também por rotação de culturas.

Rotação de culturas é uma técnica agrícola que alterna, de maneira ordenada e planejada, diferentes culturas em uma mesma área em um dado período. Essa técnica de plantio tem como objetivo a conservação do solo e a consequente redução de sua exaustão.

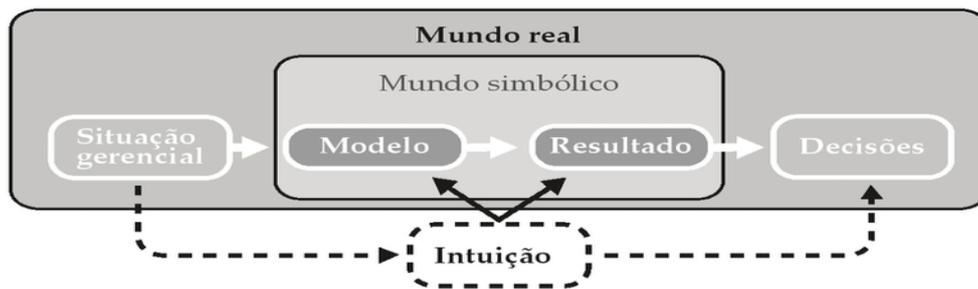
A utilização do milho e do feijão são muito comuns não somente em cultivos isolados, mas também em cultivos consorciados e em sistemas de rotação de cultura, em função de suas diferenças fisiológicas e morfológicas. O plantio do milho associado com o feijão é um sistema muito utilizado pelos pequenos agricultores, que visam, sobretudo, uma redução do risco, melhor aproveitamento da área.

#### 4. METODOLOGIA

Este trabalho utiliza a modelagem matemática do problema para fundamentar a tomada de decisão. Os problemas do mundo real são abundantes de incertezas e variáveis, o que torna uma modelagem fiel inviável, por isso, se faz necessário a simplificação do problema. Todavia o modelo deve continuar coerente e respeitando as restrições do sistema real, para que a solução seja aderente e possivelmente aplicável. Dessa maneira, uma análise qualitativa precede a análise quantitativa (MORABITO NETO e PUREZA, 2012).

A Figura 1 mostra o diagrama de LACHTERMACHER (2016), que exemplifica uma abordagem simplificada na resolução do problema. A intuição do tomador de decisão deve auxiliá-lo na busca de informações relevantes, na validação da modelagem, nos cenários possíveis e na avaliação dos resultados.

Figura 1 - Processo de tomada de decisão

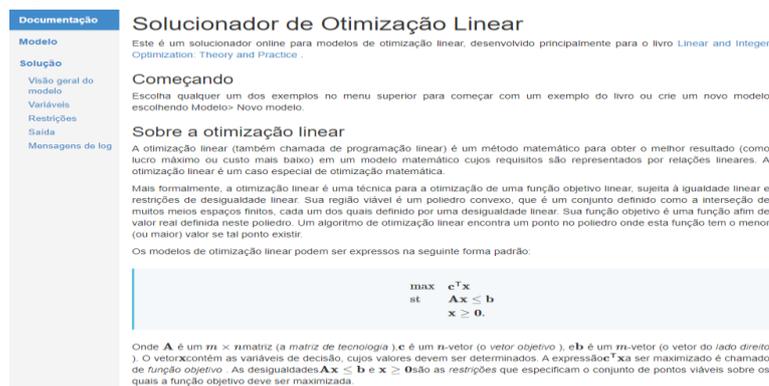


Fonte: Lachtermacher, (2016)

##### 4.1. Software utilizado

Para a execução e análise do modelo foi utilizado a ferramenta *online-optimizer* (Figura 2), tal ferramenta é gratuita e pode ser acessada pelo endereço <https://online-optimizer.appspot.com> (20/10/2021). O *online-optimizer* utiliza o *GNU Linear Programming Kit* (GLPK), um pacote de software capaz de resolver programações lineares de larga escala.

Figura 2 - Tela inicial traduzida da ferramenta *online-optimizer*



Fonte: Retirada do site : <https://online-optimizer.appspot.com>

A guia Modelo (Figura 3) permite entrar com código *GNU MathProg Language* (GMPL). Este é um código de computador que define a matemática de forma adequada para solucionar o problema. No código, as variáveis, a função objetivo e as restrições são declaradas.

Figura 3 - Guia Modelo *online-optimizer*

Modelo	Corre	Exemplos	Ajuda
<b>Documentação</b>		1	<code>var x1 &gt;= 0;</code>
		2	<code>var x2 &gt;= 0;</code>
		3	
<b>Modelo</b>		4	<code>maximize z: 3*x1 + 2*x2;</code>
		5	
<b>Solução</b>		6	<code>subject to c11: x1 + x2 &lt;= 9;</code>
		7	<code>subject to c12: 3*x1 + x2 &lt;= 18;</code>
Visão geral do modelo		8	<code>subject to c13: x1 &lt;= 7;</code>
Variáveis		9	<code>subject to c14: x2 &lt;= 6;</code>
Restrições		10	
Saída		11	<code>end;</code>
Mensagens de log		12	

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

A guia Solução mostra os resultados dos cálculos do modelo. Essa guia possui cinco tópicos, divididos em: A guia Visão geral do modelo (Figura 4), lista as características gerais do modelo. A guia Variáveis (Figura 5), lista as variáveis do modelo, seus valores ideais e outras informações para análise. A guia Restrições (Figura 6), lista as restrições do modelo e os valores de folga na solução ótima. A guia Saída (Figura 7), lista qualquer saída gerada por instruções no código. A guia Mensagens de log (Figura 8), lista qualquer saída gerada pelo resolvidor matemático. Isso é útil para rastrear quaisquer problemas no processo de solução.

Figura 4 - Guia Visão geral do modelo traduzido, *online-optimizer*

Modelo	Corre	Exemplos	Ajuda
<b>Documentação</b>			
<b>Modelo</b>			
<b>Solução</b>			
<b>Visão geral do modelo</b>			
Variáveis			
Restrições			
Saída			
Mensagens de log			

Rótulo	Valor
Tipo de problema	Otimização Linear
Objetivo	Maximize z
Valor objetivo ideal	22.5
Status do Solver	Ótimo
Número total de variáveis	2
Variáveis contínuas	2
Número de restrições	5
Coefficientes não binários diferentes de zero	8

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

Figura 5 - Guia Visão geral do modelo traduzido, *online-optimizer*

Variável	Modelo	Valor	Limites de ..	Status	Coef de obj..	Obj coef tol..
x1	Real	4.5	[0, Inf]	Básico	0	[-1, Inf]
x2	Real	4.5	[0, Inf]	Básico	0	

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

Figura 6 - Guia Visão geral do modelo traduzido, *online-optimizer*

Nome	Valor Lhs	Limites Rh..	Folga	Status	Valor dual ..	Intervalo R..
c11	9	[-Inf, 9]	0	No limite su...	1.5	[6, 10]
c12	18	[-Inf, 18]	0	No limite su...	0.5	[15, 23]
c13	4.5	[-Inf, 7]	2.5	Básico	0	
c14	4.5	[-Inf, 6]	1.5	Básico	0	

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

Figura 7 - Guia Visão geral do modelo traduzido, *online-optimizer*

Nada para exibir.

Esta guia exibe a saída das instruções `display` e `printf`. A solução do seu modelo pode ser encontrada (após a resolução) nas guias "Variáveis" e "Restrições".

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

Figura 8 - Guia Visão geral do modelo traduzido, *online-optimizer*

```

Modelo  Corre  Exemplos  Ajuda
Documentação
Modelo
Solução
  Visão geral do modelo
  Variáveis
  Restrições
  Saída
  Mensagens de log
Reading model section from editor.mod ...
11 lines were read
Generating z...
Generating c11...
Generating c12...
Generating c13...
Generating c14...
Model has been successfully generated
Scaling...
A: min|aij| = 1 max|aij| = 3 ratio = 3
Problem data seem to be well scaled
Solving the model using the simplex optimizer
GLPK Simplex Optimizer, v4.49
5 rows, 2 columns, 8 non-zeros
Preprocessing...
2 rows, 2 columns, 4 non-zeros
Scaling...
A: min|aij| = 1 max|aij| = 3 ratio = 3
Problem data seem to be well scaled

```

Fonte: Retirada do site: <https://online-optimizer.appspot.com>

## 5. OBJETO DE ESTUDO

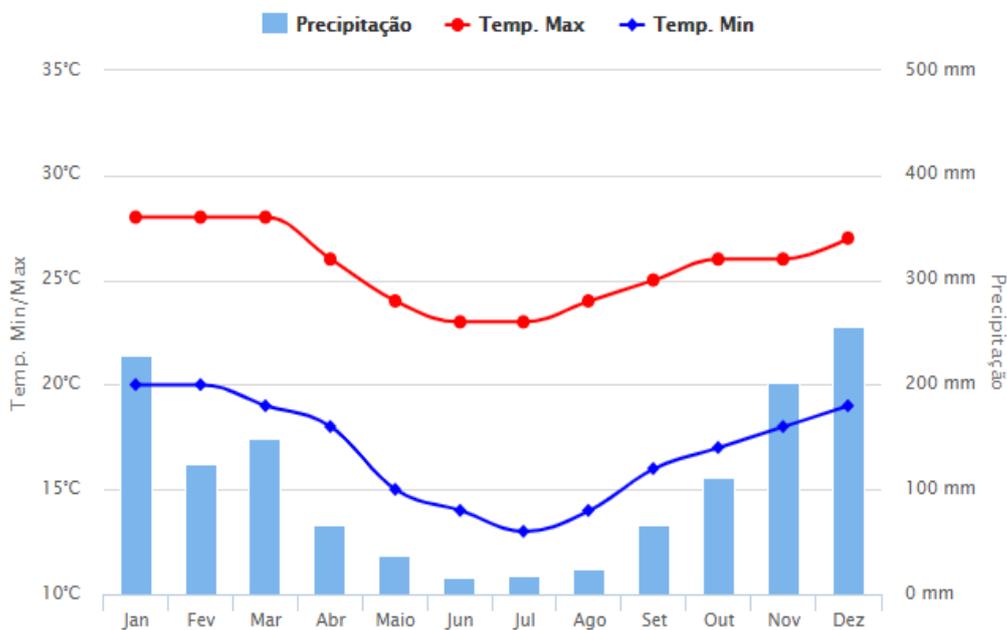
### 5.1. Localização da área

A área de estudo localiza-se no município de Coimbra, estado de Minas Gerais, a cerca de 8 km do centro urbano. Seu acesso se dá por uma estrada não pavimentada que fornece acesso a comunidade Grama, onde a propriedade está situada. Sua localização com as coordenadas geográficas são: Longitude - 42°44'15.08"O e Latitude 20°52'12.78"S.

### 5.2. Caracterização da área

A altitude média é de 720 metros acima do nível do mar. A área possui clima subtropical úmido. A temperatura média é inferior a 28°C no verão e inferior a 14°C nos meses mais frios de inverno. A umidade relativa do ar situa-se em torno de 40% e a precipitação pluviométrica média é de 108 mm/ano.

Gráfico 1 - Gráfico de Precipitação, Temperatura Mínima e Máxima



Fonte: Clima Tempo, disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3668/coimbra-mg>

Sua área total é de 17.17 hectares. A base do empreendimento rural se dá pela produção de café, milho e feijão, onde aproximadamente, dois hectares é destinado para a produção de milho e feijão, com uma produção média anual de 336 sacas e 18 sacas, respectivamente. O café possui aproximadamente três hectares plantando, com uma produtividade média no ano agrícola

de 134 sacas de 60 kg. Desses 17,17 hectares há uma área de 6,9 hectares disponível para investimento. Como representação, a Figura 1 mostra as áreas da propriedade de estudo.

Figura 9 - Mapa da propriedade



Fonte: Google Earth5.3

Na visita à propriedade rural, o proprietário forneceu dados referentes aos custos de produção. A Tabela 1 diz respeito aos custos e receitas do milho referente às safras de 2019 e 2020.

Tabela 1 - Relatório financeiros em reais, nos anos de 2019 e 2020.

<b>MILHO</b>		
<b>Item</b>	<b>2019 (R\$)</b>	<b>2020 (R\$)</b>
Área Plantada (ha)	2,30	2,00
Produção (Sacas 60 Kg)	301,33	372,00
Preço Médio de Venda (R\$/Saca)	46,70	81,22
Renda Bruta (R\$/Saфра)	14072,11	30213,84
Custo Operacional Efetivo - COE (R\$/Saфра)	7718,55	16171,27
Mão de Obra Familiar (R\$/Saфра)	560,00	472,50
Depreciação (R\$/Saфра)	77,43	77,43
Custo Operacional Total - COT (R\$/Saфра)	8355,98	16721,20
Custo de Oportunidade (R\$/Saфра)	1828,82	1978,93
Custo Total - CT (R\$/Saфра)	10184,80	18700,13
Lucro	5.716,13	13.492,64

Fonte: Próprio autor

A Tabela 2 fornece dados dos custos e receitas do feijão referente às safras de 2019/2020.

Tabela 2 - Relatório financeiros em reais, nos anos de 2019 e 2020.

<b>FEIJÃO</b>		
<b>Item</b>	<b>2019 (R\$)</b>	<b>2020 (R\$)</b>
Área Plantada (ha)	0,63	2,00
Produção (Sacas 60 Kg)	15,50	21,33
Preço Médio de Venda (R\$/Saca)	241,94	310,00
Renda Bruta (R\$/Saфра)	3750,07	6613,00
Custo Operacional Efetivo - COE (R\$/Saфра)	1103,83	3176,50
Mão de Obra Familiar (R\$/Saфра)	205,60	1143,80
Depreciação (R\$/Saфра)	0,00	0,00
Custo Operacional Total - COT (R\$/Saфра)	1309,43	4320,30
Custo de Oportunidade (R\$/Saфра)	657,67	1716,02
Custo Total - CT (R\$/Saфра)	1967,10	6036,32
Lucro	2440,64	2292,70

Fonte: Próprio autor

A Tabela 3 refere-se aos valores dos custos e receitas da produção de café das safras 2018/2019 e 2019/2020, sendo respectivamente, uma safra de baixa produção e uma de alta produção.

Tabela 3 - Relatório financeiros em reais, nos anos de 2019 e 2020.

<b>CAFÉ</b>		
<b>Item</b>	<b>2018/2019(R\$)</b>	<b>2019/2020(R\$)</b>
Área Plantada (ha)	2,97	2,97
Produção (Sacas 60 Kg)	26,30	241,70
Preço Médio de Venda (R\$/Saca)	379,28	400,72
Renda Bruta (R\$/Safrá)	9975,00	96854,20
Custo Operacional Efetivo - COE (R\$/Safrá)	10477,31	16764,61
Mão de Obra Familiar (R\$/Safrá)	8732,98	9171,16
Depreciação (R\$/Safrá)	2304,29	2304,29
Custo Operacional Total - COT (R\$/Safrá)	21514,57	28240,05
Custo de Oportunidade (R\$/Safrá)	4618,51	4954,79
Custo Total - CT (R\$/Safrá)	26133,08	33194,84
Lucro	-11539,57	68614,14

Fonte: Produtor da Propriedade Rural Boa Vista

Foram fornecidos também os custos de implantação de uma lavoura cafeeira durante os 3 primeiros anos, onde não há receita para o produtor. Seguem os dados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custos de implantação em reais de uma lavoura cafeeira.

<b>IMPLANTAÇÕES</b>	
<b>Item</b>	<b>R\$/hectare</b>
Café 1º Ano	10.279,55
Café 2º Ano	7.648,23
Café 3º Ano	4.927,12

Fonte: Produtor da Propriedade Rural Boa Vista

As características de relevo da propriedade impõem limitações quanto às áreas disponíveis para plantio de cada cultura. Segundo o produtor dos 6,9 hectares disponíveis, apenas 2 hectares permitem o plantio de milho e feijão.

Tabela 5 - Área disponível em hectare para plantio.

PROPRIEDADE	
Item	Área Atual (ha)
<b>Área Disponível para Plantio (ha)</b>	<b>6,9</b>
Área máxima para Milho (ha)	2,0
Área máxima para Feijão (ha)	2,0
Área máxima para Café (ha)	6,9

Fonte: Produtor da Propriedade Rural Boa Vista

## 6. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo completo, fornecido como entrada para a ferramenta *online-optimizer*, pode ser visualizado na seção de anexos.

### 6.1. Variáveis de decisão

As variáveis de decisão deste problema são de 2 naturezas, sendo elas: 34 variáveis para decidir o planejamento de plantio, que define a quantidade de hectares de cada a cultura a ser plantado em cada ano e 5 para decidir o valor a ser investido nos primeiro cinco anos, totalizando 39 variáveis de decisão.

#### 6.1.1. Variáveis do plantio de Milho

Devido ao milho ser uma cultura de ciclo anual, podemos definir a quantidade a ser plantada em cada ano do planejamento, portanto, foram definidas 15 variáveis, sendo elas:  $M_1$  para o primeiro ano,  $M_2$  para o segundo ano,  $M_3$  para o terceiro ano, e assim sucessivamente até o décimo quinto ano

$$M_1; M_2; M_3; M_4; M_5; \dots; M_{15}$$

#### 6.1.1. Variáveis do plantio Feijão

O feijão também é uma cultura de ciclo anual, sendo assim, também foram definidas 15 variáveis, que representam a quantidade de milho a ser plantada a cada ano, sendo elas:  $F_1$  para o primeiro ano,  $F_2$  para o segundo ano,  $F_3$  para o terceiro ano, e assim sucessivamente até o décimo quinto ano.

$$F_1; F_2; F_3; F_4; F_5; \dots; F_{15}$$

#### 6.1.2. Variáveis do plantio Café

O café é uma cultura perene, para que seja extraído maior proveito da mesma, o ideal é que ela seja plantada logo nos primeiros anos. Para isso foi definido 4 variáveis, que representam a quantidade de café a ser plantada a cada ano, sendo elas:  $C_1$  para o primeiro ano,  $C_2$  para o segundo ano,  $C_3$  para o terceiro ano e  $C_4$  para o quarto ano.

$$C_1; C_2; C_3; C_4$$

### 6.1.3. Variáveis de Investimento

O investimento é limitado e poderá ser feito apenas até o quinto ano, sendo assim, foram definidas 5 variáveis, que representam a quantidade a ser investido a cada ano, sendo elas:  $I_1$  para o primeiro ano,  $I_2$  para o segundo ano,  $I_3$  para o terceiro ano,  $I_4$  para o quarto ano e  $I_5$  para o quinto ano.

$$I_1; I_2; I_3; I_4; I_5$$

## 6.2. Constantes

Para fins deste trabalho, a cadeia de produção foi analisada de uma forma microeconômica, como os dados disponíveis são apenas de dois anos, o cálculo das constantes será a média dos anos. As constantes são de 3 naturezas, sendo elas, o custo total por hectare plantado de cada cultura, a quantidade de sacas produzidas por hectare de cada cultura e o preço médio da saca comercializada de cada cultura.

### 6.2.1. Custo de produção total por hectare

O custo de produção da cultura em anos de colheita é dado pelo custo operacional total (COT) dividido pela área plantada, demonstrado na equação 1, onde  $AH_x$  representa a área plantada em hectares da cultura  $x$  e  $COT_x$  representa o COT da cultura  $x$ . Para o café, teremos duas constantes, uma para o ano de baixa onde o COT é inferior ao ano de cheia. Os dados foram extraídos das Tabelas 1, 2 e 3. A Tabela 6 mostra o resultado da operação.

$$COT_{H_x} = COT_x / AH_x, \text{ para } x \in (\text{milho}; \text{café}; \text{feijão}; \text{café baixa}; \text{café cheia}) \quad (1)$$

Tabela 6 - Custo de produção por hectare de área plantada em reais.

<b>Constante</b>	<b>Ano 2019</b>	<b>Ano 2020</b>	<b>Valor (média)</b>
$COT_{H_m}$ (milho)	3633,03	8360,60	5996,82
$COT_{H_f}$ (feijão)	2078,46	2160,15	2119,31
$COT_{H_{cb}}$ (café baixa)	7243,96		7243,96
$COT_{H_{cc}}$ (café cheia)		9508,43	9508,43

Fonte: Próprio autor

### 6.2.2. Preço médio de venda da saca

Para definir o preço da saca de cada cultura foram utilizados os preços de venda média praticados pelo proprietário (Tabelas 1, 2 e 3). A variável foi nomeada como  $PM_{S_x}$  onde  $x$  representa a cultura, os valores estão descritos na tabela 7.

Tabela 7 - Preço médio da venda da saca em reais.

<b>Constante</b>	<b>Ano 2019</b>	<b>Ano 2020</b>	<b>Valor (média)</b>
$PM_{S_m}$ (milho)	46,70	81,22	63,96
$PM_{S_f}$ (feijão)	241,94	310,00	275,97
$PM_{S_c}$ (café)	379,28	400,72	390,00

Fonte: Próprio Autor

### 6.2.3. Quantidade de sacas produzida por hectare

A tabela de quantidade de sacas produzidas por hectare foi elaborada por meio do cálculo da produção total de sacas de cada cultura, dividido pela área plantada da mesma, dados disponíveis nas tabelas 1, 2 e 3. Para o café teremos duas constantes, uma para o ano de baixa produção e uma para o ano de alta produção, como demonstrado na equação 2, onde  $AH_x$  representa a área plantada em hectares da cultura  $x$  e  $SP_x$  representa a quantidade de sacas produzidas pela cultura  $x$ . Os resultados podem ser conferidos na tabela 8.

$$PROD_{S_H_x} = SP_x / AH_x, \text{ para } x \in (\text{milho; café; feijão; café baixa; café cheia}) \quad (2)$$

Tabela 8 - Quantidade de sacas produzidas por hectare e valor em reais.

<b>Constante</b>	<b>Ano 2019</b>	<b>Ano 2020</b>	<b>Valor (média)</b>
$PROD_{S_m}$ (milho)	131,01	186,00	158,51
$PROD_{S_f}$ (feijão)	24,60	10,67	17,63
$PROD_{S_{cc}}$ (café cheia)	8,86		8,86
$PROD_{S_{cb}}$ (café baixa)		81,38	81,38

Fonte: Próprio Auto

### 6.2.3. Custo de implantação e manutenção do café

Para este problema foi considerado que o café em seus três primeiros anos não geraria receita, sendo assim foi definido os custos de implantação e manutenção do café para os três primeiros anos, demonstrado na tabela 9. A variável foi nomeada como  $IMC_i$  onde  $i$  representa o  $i$ -ésimo ano do café.

Tabela 9 - Custo de implantação e manutenção do café em reais.

Constante	Valor
$IMC_1$ (primeiro ano)	10279,55
$IMC_2$ (segundo ano)	7648,23
$IMC_3$ (terceiro ano)	4927,12

Fonte: Próprio Autor

### 6.3. Faturamento e custo operacional total

O café por ser uma cultura com singularidades como bienalidade, ciclo longo e fenológico tornam os cálculos de faturamento e COT mais complexo que o milho e feijão

#### 6.3.1. Milho e feijão

Para o milho e feijão, a fórmula de faturamento e custo operacional total do ano se repete em todo horizonte de planejamento, as equações 3, 4, 5 e 6 representam respectivamente o faturamento do milho, COT do milho, faturamento do feijão e COT do feijão.

$$Faturamento_{(milho,i)} = M_i * PROD\_S\_H_m * PM\_S_m, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (3)$$

$$COT_{(milho,i)} = M_i * COT\_H_m, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (4)$$

$$Faturamento_{(feijão,i)} = F_i * PROD\_S\_H_f * PM\_S_f, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (5)$$

$$COT_{(feijão,i)} = F_i * COT\_H_f, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (6)$$

#### 6.3.2. Café

Diferentemente do milho e feijão, o café possui características como a bienalidade, ciclo longo e fenológico que fazem com que as fórmulas de custo operacional total e faturamento sofram alterações ao longo do horizonte de planejamento. O manuseamento do café adotado na propriedade exige uma manutenção nos 3 primeiros anos de vida do café, e a partir deste há

uma alternância entre ano de cheia, onde se tem maior produção e ano de baixa, onde se tem uma produção mínima, implicando diretamente no cálculo do COT e faturamento. As equações 7, 8, 9, 10 e 11 representam respectivamente o custo de implantação e manutenção nos 3 primeiros anos do café, o faturamento no ano de cheia, o COT no ano de cheia, faturamento no ano de baixa e o COT no ano de baixa, onde  $i$  é o  $i$ ésimo ano do café.

$$COT_{(café,i)} = IMC_{H_i}, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 3 \quad (7)$$

$$Faturamento_{(café cheia,i)} = C_i * PROD_{S_{H_{cc}}} * PM_{S_c}, \text{ para } i \in (3; 5; 7; 9; 11; 13; 15) \quad (8)$$

$$COT_{(café cheia,i)} = C_i * COT_{H_{cc}}, \text{ para } i \in (3; 5; 7; 9; 11; 13; 15) \quad (9)$$

$$Faturamento_{(café baixa,i)} = C_i * PROD_{S_{H_{cb}}} * PM_{S_c}, \text{ para } i \in (3; 5; 7; 9; 11; 13; 15) \quad (10)$$

$$COT_{(café baixa,i)} = C_i * COT_{H_{cb}}, \text{ para } i \in (3; 5; 7; 9; 11; 13; 15) \quad (11)$$

#### 6.4. Função Objetivo

Este estudo tem por objetivo a maximização do lucro da nova área na propriedade em um período de 15 anos. Para o cálculo do lucro final, é necessário, para cada ano e para cada cultura, somar o faturamento e subtrair pelo custo, além disso o investimento foi penalizado em dez por cento, representando o custo de oportunidade de se investir em outras áreas. A função objetivo é definida pela equação 12, onde  $x$  representa a cultura,  $n$  representa os anos de planejamento e  $t$  representa os anos de investimento:

$$\max(Z) = \sum_{n=1}^{15} (Faturamento_{(x,n)} - COT_{(x,n)}) - \sum_{t=1}^5 (0.1 \cdot I_t), \text{ para } x \in (\text{milho}, \text{feijão}, \text{café}) \quad (12)$$

#### 6.5. Restrições

Para que a solução seja coerente e aplicável para o problema real, é importante mapear as limitações e exigências da propriedade.

##### 6.5.1. Restrições de não-negatividade

Sabemos que não é possível investir um valor negativo, assim como não é possível plantar uma área negativa. Portanto, temos que todas as variáveis de decisão do modelo devem ser maiores que zero, as inequações 13, 14, 15 descrevem respectivamente que o milho, feijão e café não podem ter área negativa e a inequação 16 define que o investimento não pode ser negativo. Para todas as equações citadas, o  $t$  representa o ano de planejamento.

$$M_t \geq 0, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (13)$$

$$F_t \geq 0, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (14)$$

$$C_t \geq 0, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 4} \quad (15)$$

$$I_t \geq 0, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 5} \quad (16)$$

### 6.5.2. Restrições de área

A nova área disponível, tem um total de 6,9 hectares, o produtor faz a rotação de plantio do milho e feijão, sendo o feijão da safra de terceira época, ocupando a área de março a julho, e milho da safra dos meses de outubro a fevereiro. Portanto é necessário limitar a área plantada apenas dos pares, café-milho e café-feijão, pois, o milho e feijão são culturas que não disputam o recurso de área, uma vez que, os períodos de produção ocorrem em meses diferentes. As inequações 17, 18 restringem respectivamente a área plantada do par café-milho e café-feijão, onde  $t$  representa o ano de planejamento e  $n$  o ano em que o café foi plantado.

$$M_t + \sum_{n=1}^{\min(t,4)} C_n \leq 6,9, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (17)$$

$$F_t + \sum_{n=1}^{\min(t,4)} C_n \leq 6,9, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (18)$$

Dos 6,9 hectares disponíveis, apenas 2 hectares permitem a plantação de milho e feijão, pois algumas áreas possuem declividade, inviabilizando o cultivo das culturas de milho e feijão. As inequações 19 e 20 restringem a área destinado para o milho e café, onde  $t$  representa o ano planejado.

$$M_t \leq 2, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (19)$$

$$F_t \leq 2, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (20)$$

Não serão levadas em consideração as variações climáticas, pragas e oscilação de mercado, uma vez que tais dados são de difícil previsão, sendo necessário uma simulação de diversos cenários. Entretanto é importante que o produtor se resguarde quanto aos riscos citados, por isso, se faz necessário a variabilidade de plantio na propriedade. Para garantir a variabilidade foi definido que ao menos um hectare da nova área seja destinado a cada cultura, as inequações 21 e 22, definem respectivamente o mínimo de área destinado ao milho e ao feijão, onde  $t$  representa o ano de planejamento, como o café possui um ciclo longo, devemos garantir que apenas no primeiro ano seja destinado um hectare para o seu plantio (inequação 23).

$$M_t \geq 1, \text{ para } t \text{ variando de 1 a 15} \quad (21)$$

$$F_t \geq 1, \text{ para } t \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (22)$$

$$C_1 \geq 1 \quad (23)$$

### 6.5.3. Restrições de investimento

O proprietário, está disposto a fazer um investimento de até R\$ 60.000 em cinco aportes anuais, sendo o investimento inicial de R\$ 20.000 dada pela inequação 24 e mais quatro aportes de R\$ 10.000 descritas na inequação 25, onde  $t$  representa o ano do planejamento.

$$I_1 \leq 20000 \quad (24)$$

$$I_t \leq 10000, \text{ para } t \text{ variando de } 2 \text{ a } 4 \quad (25)$$

### 6.5.4. Restrições de custo operacional

O custo operacional total do ano planejado é limitado pela reserva de capital da nova área, a reserva do ano é dada pela soma dos lucros dos anos anteriores mais a soma dos investimentos até o ano planejado, a fórmula da reserva disponível está descrita na equação 26, onde  $i$  representa o ano planejado,  $n$  representa os anos anteriores ao planejado e  $t$  representa o ano dos investimentos.

Portanto o custo operacional total não pode exceder a reserva disponível do ano planejado, tal restrição é definida pela inequação 27, onde  $i$  representa o ano de planejamento.

$$ReservaCapital_i = \sum_{n=1}^{i-1} (Faturamento_n - Custo_n) + \sum_{t=1}^{\max(5,i)} I_t, \text{ para todo } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (26)$$

$$ReservaCapital_i - Custo_i \geq 0, \text{ para } i \text{ variando de } 1 \text{ a } 15 \quad (27)$$

## 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a definição da formulação do modelo, os dados foram inseridos na ferramenta *online-optimizer*.

A solução ótima apresentada no relatório obteve um lucro de R\$ 571.019,46 com um investimento de R\$ 54.915,21 no período de 15 anos. O valor investido e a quantidade de hectares plantados para cada cultura em cada ano, é descrito a seguir pela Tabela 10, onde as colunas representam respectivamente, o ano do planejamento e as variáveis de decisão, sendo o investimento, área plantada em hectares de café, feijão e milho. No primeiro ano o modelo decidiu investir R\$ 20.000, destinando um hectare para o café, 1,76 para o feijão e um hectare para o milho. Assim sucessivamente para os próximos 14 anos.

Tabela 10 - Tabela de resultado das variáveis de decisão em hectare.

Índice	$I_i$	$C_i$	$F_i$	$M_i$
1	20.000,00	1,00	1,76	1,00
2	10.000,00	0,39	2,00	2,00
3	10.000,00	0,00	2,00	2,00
4	10.000,00	3,51	1,49	1,00
5	4.915,21	-	2,00	2,00
6	-	-	2,00	2,00
7	-	-	2,00	2,00
8	-	-	2,00	2,00
9	-	-	2,00	2,00
10	-	-	2,00	2,00
11	-	-	2,00	2,00
12	-	-	2,00	2,00
13	-	-	2,00	2,00
14	-	-	2,00	2,00
15	-	-	2,00	2,00

Fonte: Próprio autor

Analisando o modelo, caso o produtor opte em aumentar o valor máximo investido, o mesmo deverá ser feito até o quarto ano, pois no quinto o valor disponível não foi totalmente

utilizado, tendo uma sobra de R\$ 5.084,78. Como o investimento no primeiro ano obteve o maior preço sombra, o ideal é que caso tenha uma disponibilidade maior de investimento, é recomendado que seja alocado no primeiro ano.

Plantar um hectare de café e milho no primeiro ano representou uma redução no valor da função objetivo, o produtor neste caso, poderia optar em reduzir a quantidade de área plantada de uma dessas culturas no primeiro ano.

No terceiro ano o modelo decidiu que não haveria plantação de café, caso o produtor queira inseri-lo no planejamento, deverá aumentar o preço médio da saca produzida nesta área para que compense o prejuízo gerado na função objetivo. O modelo mostrou também que, a partir do quinto ano, o terreno passou a ser um recurso escasso.

Até o sexto ano, todo o valor investido e lucro obtido foi utilizado para arcar com os custos, sendo principalmente os custos de implantação/manutenção do café. Entretanto do sétimo ano em diante, o planejamento entra em estabilidade, nos anos ímpares o lucro é aproximadamente R\$ 103.250 e em anos pares R\$ 14.662, gerando uma renda média anual a partir do sétimo ano de R\$ 59.000.

## 8. CONCLUSÃO

Este estudo abordou os conceitos de programação linear para a tomada de decisão no planejamento produtivo em uma propriedade rural localizada na cidade de Coimbra-MG. O objetivo deste trabalho foi maximizar o lucro da nova área disponível, em um horizonte de planejamento de quinze anos, otimizando a área de plantio de milho, feijão e café.

A modelagem matemática do problema foi possível graças ao estudo do processo produtivo e das características físicas da propriedade, além da disponibilidade do produtor em fornecer os dados e informações acerca do funcionamento da propriedade. A formulação do modelo exigiu muito esforço devido, principalmente, à complexidade do planejamento da cultura do café e da possibilidade de reinvestimento do lucro no horizonte planejado.

O modelo apresentou uma solução ótima, entregando um lucro líquido de R\$ 571.019,46 com investimento total de R\$ 54.915,22. Além disso, a partir da análise dos resultados, foi possível extrair informações relevantes ao produtor, como, o momento em que a nova área passa a ter receita, qual a receita anual, permitindo um melhor planejamento de novos investimentos e a possibilidade de alocar mais recursos, seja no valor investido, ou na expansão da área disponível.

Como futura gestora do agronegócio, indicaria implantar a proposta de solução entregue pelo modelo, uma vez que, os custos são garantidos antes de qualquer faturamento, trazendo maior segurança para o produtor e a partir do sétimo ano, o mesmo passa a ter um lucro igual ao valor investido.

O trabalho mostra que a pesquisa operacional é uma ferramenta poderosa mesmo para pequenas propriedades, trazendo resultados difíceis de se encontrar sem o auxílio dela. Também contribuiu para desmistificar um conceito local onde se acredita que a maximização do lucro estava relacionada ao plantio de café o mais cedo possível e na maior área possível.

Ademais, foi possível por meio do trabalho proposto colocar em práticas assuntos estudados em sala de aula, como os conceitos de administração rural, planejamento rural e o uso da modelagem em casos reais. Configura-se em uma experiência enriquecedora para a minha formação acadêmica e pessoal.

Como trabalhos futuros, os pesquisadores sugerem a possibilidade do plantio em consórcio, adição de novas culturas, variações de produção de acordo com a idade do café e maiores detalhes na modelagem, como, limitação e custo da mão de obra.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGRICULTURA familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação.** [S. l.]: Daniela Bittencourt, 23 jan. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31505030/artigo---agricultura-familiar-desafios-e-oportunidades-rumo-a-inovacao>. Acesso em: 22 jul. 2021.

BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. **Gerenciamento de Sistemas Agroindustriais: Definições e correntes mercadológicas.** Gestão agroindustrial, v. 2, p. 28-34, 2001.

CAMARGO, A.P. **As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. v.1, p.41-42.

CARNEIRO, M. B. et al. **A aplicação do método simplex para a maximização dos lucros de uma panificadora.** In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2017. Anais. Ponta Grossa: CONPREPRO, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de milho:** Safra 2021, terceira estimativa, setembro/2011. Brasília: Conab, 2021a. 22p.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. **Ecophysiology of coffee growth and production.** Brazilian Journal of Plant Physiology, v.19, p.485- 510, 2007.

FAYOL, Henri. **Administração industrial e geral: previsão, organização, comando, coordenação, controle.** Tradução: Irene de Bojano e Mário de Souza, 10 ed. São Paulo: Atlas, 1989.

GASQUES, J. G. et al. **Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, fev. 39 p. (IPEA. Texto para discussão, 1.009), 2004.

HOLZ, Élio. **Fundamentos teóricos da gestão agrícola.** Epagri, 1994, 31p.

KAY, R. D. **Farm management: planning, control and implementation.** Tokyo: McGraw-Hill, 2. ed., 1983, 370p.

LACHTMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MACHADO FILHO, C.P.; CALEMAN, S.M.Q.; CUNHA, C.F. **Governance in agribusiness organizations: challenges in the management of rural family firms.** Rev. Adm. (São Paulo), São Paulo, v. 52, n. 1, p. 81-92, Mar. 2017 < <http://dx.doi.org/10.1016/j.rausp.2016.09.004>.>

MESQUITA, Carlos Magno de et al. **Manual do café: implantação de cafezais Coffea arábica L.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 50 p. il.

MICHAUD, R. **Relatório final de missão em administração rural.** Embrater, Brasília, 1989, 71p

MORABITO NETO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação. In: Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2012. p. 169–198.

MOREIRA, Daniel A. **Pesquisa operacional: curso introdutório.** 2. ed. rev. e atualiz., São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MOREIRA, R.; ABRANTES, L. A.; PINHEIRO, A. S. **Impacto do ICMS no custo de produção do café em Minas Gerais.** Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, São Paulo, 2007.

MUROLO, A. C.; et al. **Pesquisa Operacional para os Cursos de Administração e Engenharia.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BATALHA, M. F. et al. **Gestão agroindustrial.** São Paulo: Gepai, 1999.

**PIB do Agronegócio alcança participação de 26,6 no PIB brasileiro em 2020,** 20 jan. 2021. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/boletins/pib-do-agronegocio-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020>> Acesso em: 28 agosto de 2021.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. **Fisiologia do cafeeiro.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

SECRETARIA DO ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS (SEAPA). **Relatórios da Agricultura.** 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php/2014-09-23-01-07-23/relatorios>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

SILVA, G. J. C.; SOUZA, E. C.; MARTINS, H. E. P. **Produção agropecuária em municípios de Minas Gerais (1996-2006): padrões de distribuição, especialização e associação espacial.** Revista de Economia e Sociologia Rural - RESR, v. 50, n. 2, p. 333-350, 2012.

## ANEXO - DEFINIÇÃO DO MODELO - PARTE 1

```

param k; # quantidade de anos analisados da analise
param ac; # ano maximo permitido para plantar cafe
param ai; # anos de investimento
param vi{t in 1..ai}; # valor maximo investido no ano t
param ad; # area disponivel para plantacao em hectare

param COT_H_m; # custo por area para milho
param PM_S_m; # preco saca de milho
param PROD_S_H_m; # quantidade de sacas produzidas por hectare de milho

param COT_H_f; # custo por area para feijão
param PM_S_f; # preco saca de feijão
param PROD_S_H_f; # quantidade de sacas produzidas por hectare de feijão

param COT_H_cc; # custo por area para café no ano de cheia
param PROD_S_H_cc; # quantidade de sacas produzidas por hectare de café no ano de cheia

param COT_H_cb; # custo por area para café no ano de baixa
param PROD_S_H_cb; # quantidade de sacas produzidas por hectare de café no ano de baixa

param PM_S_c; # preco saca de café

param IM_H_c{i in 1..3}; # custo de implantação do café no ano i

var C{t in 1..ac}, >= 0; # quantidade de café plantada no ano t
var M{t in 1..k}, >= 1; # quantidade de milho plantada no ano t
var F{t in 1..k}, >= 1; # quantidade de feijao plantada no ano t
var I{t in 1..ai}, >= 0; # investimento no ano t

maximize z: - (sum{t in 1..ai}(0.1*I[t])) + (sum{u in 1..k} (
  - (M[u] * COT_H_m + F[u] * COT_H_f) # custo milho + feijão
  - (sum{i in 1..ac} if (i <= u + 2 and u - i + 1 >= 1 and u - i + 1 <= 3)
    then C[i] * IM_H_c[u - i + 1] else 0) # custo de implantação
  - (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 0 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 1)
    then C[i] * COT_H_cc else C[i] * COT_H_cb) else 0) # custo dos cafés pares
  - (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 1 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 0)
    then C[i] * COT_H_cc else C[i] * COT_H_cb) else 0) # custo dos cafés impares

  + (M[u] * PM_S_m * PROD_S_H_m + F[u] * PM_S_f * PROD_S_H_f) # faturamento milho + feijão
  + (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 0 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 1)
    then C[i] * PM_S_c * PROD_S_H_cc else C[i] * PM_S_c * PROD_S_H_cb) else 0) # faturamento dos cafés pares
  + (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 1 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 0)
    then C[i] * PM_S_c * PROD_S_H_cc else C[i] * PM_S_c * PROD_S_H_cb) else 0) # faturamento dos cafés impares
)); # acumulado de todos os anos;

#restrições de area minima plantada para as culturas
subject to minimoAreaCafe1: C[1] >= 1;

# restricoes de area para o par milho e café
subject to areaMaximaMilhoCafe{t in 1..k}: M[t] + (sum{i in 1..ac} if (i <= t) then C[i]) <= ad;

# restricoes de area para o par feijão e café
subject to areaMaximaFeijaoCafe{t in 1..k}: F[t] + (sum{i in 1..ac} if (i <= t) then C[i]) <= ad;

# restricoes de area para o feijão
subject to areaMaximaFeijao{t in 1..k}: F[t] <= 2;

# restricoes de area para o milho
subject to areaMaximaMilho{t in 1..k}: M[t] <= 2;

# restricoes de area para o café
subject to areaMaximaCafe{t in 1..ac}: C[t] <= 6.9;

```

## ANEXO - DEFINIÇÃO DO MODELO - PARTE 2

# restricoes de investimento

**subject to** maximInvestimento{t in 1..ai}: I[t] <= vi[t];

# restricoes de custo

**subject to** COT{t in 1..k}: sum{u in 1..t-1} (

- (M[u] \* COT\_H\_m + F[u] \* COT\_H\_f) # custo milho + feijão

- (sum{i in 1..ac} if (i <= u + 2 and u - i + 1 >= 1 and u - i + 1 <= 3)

then C[i] \* IM\_H\_c[u - i + 1] else 0) # custo de implantação

- (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 0 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 1)

then C[i] \* COT\_H\_cc else C[i] \* COT\_H\_cb) else 0) # custo dos cafés pares

- (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 1 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 0)

then C[i] \* COT\_H\_cc else C[i] \* COT\_H\_cb) else 0) # custo dos cafés ímpares

+ (M[u] \* PM\_S\_m \* PROD\_S\_H\_m + F[u] \* PM\_S\_f \* PROD\_S\_H\_f) # faturamento milho + feijão

+ (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 0 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 1)

then C[i] \* PM\_S\_c \* PROD\_S\_H\_cc else C[i] \* PM\_S\_c \* PROD\_S\_H\_cb) else 0) # faturamento dos cafés pares

+ (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 1 and u >= i + 3) then (if (u mod 2 == 0)

then C[i] \* PM\_S\_c \* PROD\_S\_H\_cc else C[i] \* PM\_S\_c \* PROD\_S\_H\_cb) else 0) # faturamento dos cafés ímpares

+ (if u <= ai then I[u] else 0)

)# acumulado dos anos anteriores

+ (if (t <= ai) then I[t] else 0) # investimento

- (M[t] \* COT\_H\_m + F[t] \* COT\_H\_f) # custo milho + feijão

- (sum{i in 1..ac} if (i <= t + 2 and t - i + 1 >= 1 and t - i + 1 <= 3)

then C[i] \* IM\_H\_c[t - i + 1] else 0) # custo de implantação

- (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 0 and t >= i + 3)

then (if (t mod 2 == 1) then C[i] \* COT\_H\_cc else C[i] \* COT\_H\_cb) else 0) # custo dos cafés pares

- (sum{i in 1..ac} if (i mod 2 == 1 and t >= i + 3) then (if (t mod 2 == 0)

then C[i] \* COT\_H\_cc else C[i] \* COT\_H\_cb) else 0) # custo dos cafés ímpares

>=

0;

**data;**

**param** k := 15; # quantidade de anos analisados da análise

**param** ac := 4; # ano maximo permitido para plantar cafe

**param** ai := 5; # anos de investimento

**param** vi := 1 20000 2 10000 3 10000 4 10000 5 10000; # valor maximo investido no ano t

**param** ad := 6.9; # area disponivel para plantacao em hectare

**param** COT\_H\_m := 5996.82; # custo por area para milho

**param** COT\_H\_f := 2119.30; # custo por area para feijão

**param** COT\_H\_cb := 7243.96; # custo por area para café no ano de baixa

**param** COT\_H\_cc := 9508.43; # custo por area para café no ano de cheia

**param** PROD\_S\_H\_m := 158.51; # quantidade de sacas produzidas por hectare de milho plantado

**param** PROD\_S\_H\_f := 17.63; # quantidade de sacas produzidas por hectare de feijão plantado

**param** PROD\_S\_H\_cb := 8.86; # quantidade de sacas produzidas por hectare de café plantado no ano de baixa

**param** PROD\_S\_H\_cc := 81.38; # quantidade de sacas produzidas por hectare de café plantado no ano de cheia

**param** PM\_S\_m := 63.96; # preco saca de milho

**param** PM\_S\_f := 275.97; # preco saca de feijão

**param** PM\_S\_c := 390.00; # preco saca de café

**param** IM\_H\_c := 1 10279.55 2 7648.23 3 4927.12; # custo de implantação do café no ano i

**end;**