RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

OTIMIZAÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO CAFÉ UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

OPTIMIZATION OF COST OF USING COFFEE PRODUCTION GENETIC ALGORITHM

Diogo Costa Pereira[1]

Submetido: 27/12/2020
Aprovado: 11/01/2021

RESUMO
A bebida café é uma das mais conhecidas mundialmente, e para algumas pessoas é de suma importância o seu uso no cotidiano. Além disso, o café possui um enorme conglomerado de atores envolvidos, como cooperativas, armazéns, comercio internacional, produtores entre outros, e com isso se torna um produto bastante competitivo no mercado. Este trabalho objetivou estudar o emprego dos algoritmos genéticos como forma de otimização da produção cafeeira e comparar os seus resultados obtidos com um estudo base que utiliza o mesmo modelo matemático como forma de avaliação. Os resultados encontrados neste estudo foram bem satisfatórios, e quando comparados com o estudo base, comprovou-se sua eficácia.

PALAVRAS-CHAVE: Aprimoramento. Algoritmos evolucionários. Modelo matemático. Inteligência Artificial.

ABSTRACT
The drink coffee is one of the known world, and for some people is extremely important to their use in everyday life. Additionally, coffee has a huge conglomeration of actors involved, such as cooperatives, warehouses, international trade, producers and others, and it becomes a very competitive product on the market. This study investigated the use of genetic algorithms as a way to optimize coffee production and compare their results to a baseline study that uses the same mathematical model as a means of evaluation. The results found in this study were very satisfactory, and when compared to the base study, its effectiveness was proven.

KEYWORDS: *Enhancement. Evolutionary algorithms. Mathematical model. Artificial intelligence.*

1 INTRODUÇÃO

O café é um fruto conhecido no mundo todo e após o seu preparo, é considerado uma bebida nobre, indispensável para o dia-a-dia de várias pessoas. No Brasil, devido a sua alta adaptabilidade, se desenvolveu sobre total independência, sendo a primeira realização brasileira que visava a produção de riquezas (HALAL, 2008).

O território brasileiro é o maior produtor e exportador de café do mundo e segundo maior em consumo. Além disso, o setor cafeeiro é um gerador de renda relevante para centenas de municípios e um fator de grande importância para geração de postos de trabalhos na agropecuária brasileira, sendo responsável por mais de 8 milhões de empregos no país (MAPA, 2017).

[1] Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (IFTM – Campus Patrocínio), graduado em Gestão Financeira (UNICESUMAR), pós-graduando em Tecnologia de Produção Cervejeira (CLARETIANO), pós-graduado em Marketing (UNICESUMAR) e pós-graduado em Consultoria Empresarial: ênfase em R.H (UNICERP).

Os produtores de café para se tornarem competitivos nesse enorme mercado, devem obter menor custos de seus produtos, pois é um fator de altíssima relevância em relação a competitividade, proporcionando aos que a possuem uma maior barganha de seus produtos perante os seus concorrentes.

Muitas variáveis para otimizar o custo de produção do café são necessárias para elaborar uma análise profunda, tornando-se um processo trabalhoso com o tempo elevado para tais análises, e mais, eleva o valor do produto final devido aos especialistas necessários para elaborar um relatório concreto sobre os custos.

Uma forma bastante precisa para tratar problemas complexos como o deste trabalho é a utilização dos Algoritmos Genéticos, um método de busca da inteligência artificial baseado no processo biológico da evolução natural das espécies (LINDEN, 2008). Assim, esse trabalho foi conduzido com o objetivo de usar as técnicas dos algoritmos genéticos para encontrar uma solução ótima a ser empregada na produção de café, bem como comparar os seus resultados com um estudo base que utiliza um algoritmo de busca diferente deste trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

É importante o entendimento de alguns conceitos para que se possa ter uma visão mais apurada deste trabalho, para isso é preciso compreender a importância do café, o funcionamento dos algoritmos genéticos bem como pessoas que o utilizam como uma forma eficaz de busca, o modelo matemático que é utilizado como forma de avaliação e os dados a serem analisados pelo algoritmo.

2.1 Café

No Brasil, as primeiras sementes do café foram introduzidas em 1727 por Francisco Mello Palheta, na qual foram plantadas primeiramente no Maranhão e no Belém. Com o favorecimento do clima, a planta cafeeira logo se espalhou por vários estados brasileiros, onde o desenvolvimento se deu sobre total independência, utilizando apenas recursos nacionais, sendo assim a primeira realização brasileira que visou produção de riquezas (HALAL, 2008).

Oliveira (2012) fala que após a independência do Brasil, por volta 1822, o café foi muito importante para a modernização e desenvolvimento do país, pois para escoar a produção do produto, tiveram que criar portos, estradas de ferro, ampliação dos bancos ao território brasileiro e fazer o comercio funcionar de forma mais rápida.

Em torno de 1830, o café ultrapassa a produção do algodão e do açúcar, tornando-se o principal produto de exportação brasileira, e por volta de 1945 o país representava 45% de todas as exportações mundiais do café (OLIVEIRA, 2012).

Devido à grande variedade de regiões onde o café é plantado no país, uma grande variedade da planta também é produzida, razão pela qual possibilita o Brasil a atender a demando do produto mundialmente, em relação ao preço quanto o próprio paladar (MAPA, 2017).

Halal (2008) fala que o café vem da família Rubiácea e do gênero *Coffea*, e no meio da grande diversidade de espécies existentes mundialmente, as primordiais em relação ao termo agroeconômico, são o café robusta e o café arábico.

A cafeicultura é um dos autores de um grande conglomerado agroindustrial no Brasil, compreendido por máquinas, equipamentos, produtores, cooperativas, fornecedores, exportadores, empresas de processamento, empacotadores, compradores, consumidores e assistência técnica (REIS, 2001).

2.2 Algoritmos genéticos

Linden (2008) fala que os algoritmos genéticos são uma ramificação dos algoritmos evolucionários (algoritmos baseados na evolução biológica) e que podem ser definidos como uma técnica de busca onde é baseada no processo da evolução natural. Ainda diz que os algoritmos genéticos são técnicas de heurísticas para otimização de forma global.

Existem muitos pontos de máximo em uma função, contudo alguns deles não representam o ponto máximo que uma determinada função atinge, sendo estes denominados máximos locais, e quando uma função nestes pontos consegue uma mensuração maior que a sua vizinhança, a melhor solução encontrada para o problema encontra-se no ponto de maior valor, chamado de máximo global (LACERDA e CARVALHO, 1999).

Linden (2008) diz que os algoritmos genéticos são algoritmos polinomiais, na qual não possuem nenhuma garantia sobre a qualidade da solução encontrada, mas habitualmente tendem a ficar bem próximo da solução ótima ou mesmo encontrá-la.

Lucas (2002), o algoritmo genético gera uma população de respostas possíveis para o determinado problema, de forma aleatória, e depois submete-a ao processo de evolução que é formado pelas etapas:

- Avaliação: avalia-se as aptidões das soluções, uma por uma, e depois analises são feitas para se estabelecer o quanto as aptidões respondem ao problema que foi proposto;
- Seleção: aqui os indivíduos são selecionados para o processo de reprodução, sendo que a probabilidade de seleção depende da sua aptidão. Dentre as formas de seleção existentes, Fradique (2012) cita o torneio, que por sua vez seleciona uma determinada quantidade de indivíduos da população de forma aleatória e o que possuir uma melhor aptidão é escolhido como candidato a reprodução;
- Cruzamento: as características dos pais são combinadas gerando novos indivíduos. Pestili (2013) cita o *crossover* de dois pontos como uma proposta de cruzamento, onde faz-se dois

cortes na representação genética dos pais, de forma aleatória, e esses cortes são utilizados para gerar os novos indivíduos da população;

- Mutação: características genéticas dos indivíduos gerados pelo processo anterior são alteradas, acrescentando variabilidade à população;
- Atualização: indivíduos gerados são inseridos na população. Argoud e Filho et al. (2008) apresentam uma proposta para esta etapa, o elitismo, que consiste em selecionar os melhores indivíduos da população anterior e inseri-los na nova população, respeitando o limite de tamanho da mesma.
- Finalização: verifica a condição de encerramento da evolução, se foi atingida encerrasse a execução, e se não foi atingida retorna a etapa de avaliação.

Muitos buscam formas para obterem resultados concisos a respeito de seus trabalhos, com isso Santos (2013) demonstra um estudo para otimizar o custo da colheita e transporte da cana-de-açúcar para o setor sucroalcooleiro brasileiro, para isso ele utilizou 10 variedades de cana e 16 talhões. Ele tem como objetivo utilizar algumas combinações de algoritmos genéticos para investigar o efeito de parâmetros genéticos sobre seu desempenho a uma solução de um modelo matemático que minimiza custos. Os seus resultados foram surpreendentes, conseguindo em uma combinação de seu algoritmo uma eficácia de 99,70% sobre uma solução ótima encontrada através de uma referência bibliográfica utilizada em seus estudos.

Souza (2012) também utilizou a técnica dos algoritmos genéticos na otimização de rotas para distribuição de bebidas de uma empresa, na qual, visa ter a melhor rota de distribuição com o menor custo/distância entre os clientes e o centro de distribuição. O algoritmo desenvolvido conseguiu obter a melhor rota em relação ao custo/distância, comprovando assim uma importante ferramenta de otimização no auxílio da tomada de decisão.

2.3 Modelo matemático

Machado (2006) fala que um modelo matemático é um mecanismo que nos facilita a interação da Matemática com a realidade. Com isso, Milan (2008) propõem um modelo matemático de programação linear multiobjetivo englobada por uma função multiobjectivo, três conjuntos de restrições técnicas (não forçadas), três conjuntos de restrições contábeis e dois conjuntos de variáveis endógenas (internas); que busca à maximização do lucro, à minimização dos gastos com insumos, à minimização dos custos de colheita, à maximização da produção total de café e à maximização da produção de café da qualidade cereja.

Na figura 2 pode ser observado a função de maximização na qual possui o objetivo de otimizar o custo de produção do café.

$$Max\ MOBJ = (\propto_1 * L) - (\propto_2 * G) - (\propto_3 * C) + (\propto_4 * Z) + (\propto_5 * E)$$

Onde:

- (αn) = peso atribuído ao objetivo requerido
- (L) = Lucro
- (G) = Gasto com os insumos
- (C) = Custos de colheita
- (Z) = Produção total de café
- (E) = Produção de café cereja

Como pode ser observado, esta função pode priorizar, através do uso dos pesos, qualquer uma de suas funções menores, como lucro, gastos e/ou produção.

As restrições técnicas, de acordo com Milan (2008), são compreendidas pelo gasto, colheita e área.

- Gasto: deve ser utilizado um único tipo de adubação e um único controle fitossanitário para um mesmo talhão.
- Colheita: representa a totalidade das áreas da fazenda que deverá ser colhida.
- Área: a área máxima compreendida pelo período de um mês a ser colhida mecanicamente é de x hectares.

Milan (2008) caracteriza como restrições contábeis o lucro, a qualidade e também a produção total, para tanto tem-se:

- Lucro: caracterizado pela diferença entre a renda (R) e os custos com adubos e defensivos (G), bem como gastos de colheita (C), os custos de beneficiamento (B) e também os custos administrativos (D). Onde:
  I. R: é a receita conseguida da somatória do preço do café, de acordo com a sua qualidade, multiplicado pela produtividade do talhão de acordo com cada qualidade e pela área do talhão trabalhado.
  II. G: somatória do custo de produção, os defensivos e adubos, para cada hectare multiplicado pela área de cada um dos talhões.
  III. C: somatória do custo em valores monetários (R$) para cada hectare por cada tipo de colheita em talhão, multiplicado pela área do talhão em questão e pela quantidade colhida por talhão de acordo com o tipo de colheita.
  IV. B: somatória do café rendido em sacas, multiplicado pelo gasto do beneficiamento para cada saca.
  V. D: somatória da área das lavouras (talhões), multiplica pelo gasto administrativo.
- Qualidade (E): somatória da produtividade de cada talhão, multiplicada pela parcela de café do tipo cereja e pela do talhão.
- Produção Total (Z): somatória da produção de cada talhão, multiplicada pela parte da qualidade dos grãos de café e pela área.

2.4 Dados a serem analisados

Para que seja possível uma análise mais apurada dos resultados obtidos pelos algoritmos genéticos desenvolvidos para este projeto, foram utilizados os dados do trabalho de (MILAN, 2008), na qual um dos resultados da sua obra serão comparados com os resultados aqui encontrados.

Os dados são de uma fazenda localizada no município de Cristais Paulista, situada no estado de São Paulo, com uma área de 58,7 hectares, separada em oito talhões com aproximadamente 35.140 pés de café. Estes talhões são especificados pelas variedades de café, espaço adotado e a idade da lavoura.

Para representar os produtos utilizados, suas identificações serão representadas como A7A11, A7A13, A7A15, A8A11, A8A13, A8A15, A9A11, A9A13, A9A15 que correspondem os adubos de macro e micronutrientes. Os tipos de controle de defensivos são representados por L1 e L2. O custo de beneficiamento representa um total de 10,97% sobre a renda total obtida.

A produção do talhão em sacas/ha e os gastos com os mesmos podem ser observados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O custo da colheita por hectare conforme talhão, mês e tipo pode ser demostrado na Tabela 3. A proporção da produção de café conforme qualidade, o preço pago pela saca de café e a área de cada talhão podem ser observados nas Tabelas 4, 5 e 6, por essa ordem.

Tabela 1 Produção do talhão em sacas por hectare conforme adubação e controle defensivo.

Adubação e Controle	**Produção (sacas / hectare)**							
A7A11L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A7A13L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A7A15L1	76	26	43	0	95	29	49	31
A8A11L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A8A13L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A8A15L1	76	26	43	0	95	29	49	31
A9A11L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A9A13L1	72	24	41	0	90	27	47	30
A9A15L1	76	26	43	0	95	29	49	31
A7A11L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A7A13L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A7A15L2	72	24	41	0	90	27	47	30

A8A11L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A8A13L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A8A15L2	72	24	41	0	90	27	47	30
A9A11L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A9A13L2	68	23	38	0	86	26	44	28
A9A15L2	72	24	41	0	90	27	47	30
TALHÕES	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

Fonte: Milan (2008).

Tabela 2 Gastos com insumos de adubação e controle fitossanitário, em R$ por hectare.

Adubação e Controle	**Gastos (R$ / hectare)**							
A7A11L1	2539,56	2176,56	2297,56	2175,16	2660,56	2176,56	2297,56	2176,56
A7A13L1	2543,46	2180,46	2301,46	2177,76	2664,46	2180,46	2301,46	2180,46
A7A15L1	2866,82	2503,82	2624,82	2443,82	2987,82	2503,82	2624,82	2503,82
A8A11L1	2539,56	2176,56	2297,56	2175,16	2660,56	2176,56	2297,56	2176,56
A8A13L1	2543,46	2180,46	2301,46	2177,76	2664,46	2180,46	2301,46	2180,46
A8A15L1	2866,82	2503,82	2624,82	2443,82	2987,82	2503,82	2624,82	2503,82
A9A11L1	2476,43	2125,43	2242,43	2242,43	2593,43	2125,43	2242,43	2125,43
A9A13L1	2803,69	2129,33	2246,33	2126,63	2597,33	2129,33	2246,33	2129,33
A9A15L1	2803,69	2452,69	2569,69	2392,69	2920,69	2452,69	2569,69	2452,69
A7A11L2	2323,56	1960,56	1960,56	1959,16	2444,56	1960,56	2081,56	1960,56
A7A13L2	2327,46	1964,46	2085,46	1961,76	2448,46	1964,46	2085,46	1960,56
A7A15L2	2650,82	2287,82	2408,82	2227,82	2771,82	2287,82	2408,82	2287,82
A8A11L2	2323,56	1960,56	2081,56	1959,16	2444,56	1960,56	2081,56	1960,56
A8A13L2	2327,46	1964,46	2085,46	1961,76	2448,46	1964,46	2085,46	1964,64
A8A15L2	2650,82	2287,82	2408,82	2227,82	2771,82	2287,82	2408,82	2287,82
A9A11L2	2260,43	1909,43	2026,43	2026,43	2377,43	1909,43	2026,43	1909,43
A9A13L2	2264,33	1913,33	2030,33	1910,63	2381,33	1913,33	2030,33	1913,33
A9A15L2	2587,69	2236,69	2353,69	2176,69	2704,69	2236,69	2353,69	2236,69
TALHÕES	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

Fonte: Milan (2008).

Tabela 3 Custos da colheita expressa em R$ por hectare conforme talhão, mês e tipo de colheita.

Mês	Tipo de Colheita								
MAIO	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
JUNHO	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
JULHO	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
AGOSTO	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
SETEMBRO	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
MAIO	MÁQUINA	224	224	224	224	224	224	224	224
JUNHO	MÁQUINA	218	218	218	218	218	218	218	218
JULHO	MÁQUINA	214	214	214	214	214	214	214	214
AGOSTO	MÁQUINA	209	209	209	209	209	209	209	209
SETEMBRO	MÁQUINA	203	203	203	203	203	203	203	203
TALHÕES		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

Fonte: Milan (2008).

Tabela 4 Proporções da produção de café conforme qualidade por talhão.

Talhões	Cereja	Verde	Boia	Varreção
1	0,3	0,12	0,49	0,09
2	0,3	0,12	0,49	0,09
3	0,3	0,12	0,49	0,09
4	0,3	0,12	0,49	0,09
5	0,3	0,12	0,49	0,09
6	0,3	0,12	0,49	0,09
7	0,3	0,12	0,49	0,09
8	0,3	0,12	0,49	0,09

Fonte: Milan (2008).

Tabela 5 Preços pago pela saca de café, conforme sua qualidade.

Qualidade	Preço em R$ por saca

Cereja	300
Verde	180
Boia	200
Varreção	150

Fonte: Milan (2008).

Tabela 6 Áreas dos talhões (hectare) da fazenda.

Talhões	Área (hectare)
1	5,7
2	10
3	2,5
4	4
5	5
6	5,4
7	9,2
8	16,9

Fonte: Milan (2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algoritmo genético estruturado para a resolução do problema de otimização possui indivíduos contendo uma String com um tamanho total de 72 caracteres compreendida por 0 ou 1. Os primeiros 40 caracteres representam os talhões da fazenda, formados por 5 bits cada, no qual indica qual tipo de insumo será representado, e o restante representa o custo da colheita de acordo com o talhão, mês e tipo de colheita, formado por 4 bits.

O *crossover* de 2 pontos foi utilizado para a geração de novos indivíduos da população, e o restante de indivíduos faltantes para completar o tamanho original da população foi empregado a técnica de elitismo, onde os melhores indivíduos da população anterior são inseridos na nova população para completá-la.

Após a implementação básica da estrutura do algoritmo genético, é necessário informar algumas configurações iniciais para que o mesmo possa ser executado, como: o tamanho da população, a taxa de *crossover* (porcentagem de filhos a ser criado), a taxa de mutação (porcentagem de mudanças nos indivíduos), quantidade de iterações do algoritmo como forma de

parada, e os pesos para o lucro (MAX), gasto com insumos (MIN), custo de colheita (MIN), produção total de café (MAX) e produção de café cereja (MAX).

Foram desenvolvidos dois cenários para uma melhor diversificação dos parâmetros de entrada apresentados à cima, e também para verificar o comportamento do algoritmo genético, estes podem ser observados a seguir.

3.1 Cenário 1

A primeira configuração foi formada com o valor de 120 para o tamanho da população, 70 (%) para a taxa de *crossover*, 8 (%) para taxa de mutação, 35 para iterações de parada e o valor 1 para todos os pesos, ficando estes neutros. O *software* criado foi executado por 4 vezes, e os resultados para esta configuração podem ser observados na tabela 7.

Tabela 7 Resultados do Algoritmo Genético no primeiro cenário.

	Resultados			
Lucro	159.516,62	160.132,41	160.309,20	163.570,17
Renda	510.162,77	511.278,27	508.489,52	517.703,55
Gastos com Insumos	127.578,04	128.474,59	126.185,77	130.408,58
Custo de Colheita	118.701,25	118.187,10	117.811,16	118.531,10
Custo Administrativo	48.427,50	48.427,50	48.427,50	48.427,50
Custo de Beneficiamento	55.939,34	56.061,66	55.755,87	56.766,19
Produção de Café Cereja	686.01	687,51	683,76	696,15
Produção Total	2.286,70	2.291,70	2.279,20	2.320.50
Execução	**1**	**2**	**3**	**4**

Fonte: Dados da Pesquisa.

Dos resultados apresentados a melhor previsão ocorreu na quarta execução do algoritmo genético, obtendo um valor de lucro igual a R$ 163.570,17, derivado de uma renda de R$ 517.703,55, na qual foram descontados os gastos com insumos (R$ 130.408,58), os custos de colheita (R$ 118.531,10), os custos administrativos (R$ 48.427,50), e os custos de beneficiamento (R$ 56.766,19). A produção apontada de café do tipo cereja é de 696,15 sacas de 60kg e a produção total é de 2.320,50 sacas de café.

No trabalho de Milan (2008) o resultado obtido pelo seu estudo foi de R$ 160.113,90 para o Lucro, vindo de uma renda total de R$ 508.489,50, onde foram descontados os gastos com insumos (R$ 125.433,30), os custos de colheita (R$ 118.570,80), o custo administrativo (R$ 48.427,50) e o

custo de beneficiamento (R$ 55.944,00). A produção total de café foi de 2.279,20 sacas de café de 60Kg e um total de 683,76 sacas de café do tipo cereja.

Comparando os resultados obtidos pelo algoritmo genético desenvolvido neste trabalho com um resultado de Milan (2008), e levando em consideração que ambos os resultados possuem a mesma função de avaliação e suas restrições, mudando apenas o tipo de busca, ouve uma diferença positiva de R$ 3.456,27 no lucro, 12,39 sacas de café e 31,3 sacas de café na produção total, mostrando assim a eficácia do algoritmo.

A alocação dos insumos do melhor resultado (execução 4) e o tipo de colheita podem ser observados nas tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 Alocações dos insumos para o cenário 1 na terceira execução do Algoritmo Genético.

Talhões	Adubo e Controle
1	A9A15L1
2	A9A11L2
3	A9A15L2
4	A9A13L2
5	A9A15L1
6	A7A11L2
7	A9A11L1
8	A9A13L1

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 9 Mês e tipo de colheita do cenário 1 na terceira execução do Algoritmo Genético.

Talhões	Mês de Colheita	Tipo de Colheita
1	Agosto	Máquina
2	Setembro	Máquina
3	Julho	Máquina
4	Setembro	Máquina
5	Maio	Máquina
6	Agosto	Máquina
7	Setembro	Máquina
8	Setembro	Máquina

Fonte: Dados da Pesquisa.

3.2 Cenário 2

Neste cenário alguns valores de entrada foram alterados na tentativa de uma busca ainda melhor do que os resultados apresentados no cenário 1, com isso o tamanho da população foi alterado para 100, com uma taxa de crossover de 60 (%), a iteração de parada assumiu o valor de 30, a taxa de mutação assumiu o valor 5 (%) e o peso de lucro foi alterado para 2, os demais permaneceram os mesmos. Os resultados de 4 execuções são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 Resultados do Algoritmo Genético no segundo cenário.

	Resultados			
Lucro	162.503,32	164.000,76	164.585,95	164.875.51
Renda	517.703,55	517.703,55	522.924,09	522.924,09
Gastos com Insumos	131.886,87	130.650,70	134.668,56	133.881,16
Custo de Colheita	118.119,66	117.858,39	117.903,45	118.401,29
Custo Administrativo	48.427,50	48.427,50	48.427,50	48.427,50
Custo de Beneficiamento	56.766,19	56.766,19	57.338,62	57.338,62
Produção de Café Cereja	696,15	696,15	703,17	703.17
Produção Total	2.320,50	2.320,50	2.343,89	2.343,89
Execução	**1**	**2**	**3**	**4**

Fonte: Dados da Pesquisa.

Todos os resultados neste cenário foram melhores do que a maioria apresentados no primeiro cenário, levando em consideração o lucro, produção de café cereja e produção total. A melhor solução em busca de otimizar o custo de produção do café neste cenário se encontra na quarta execução do algoritmo, obtendo um valor de lucro de R$ 164.875,51 decorrente de uma renda de R$ 522.924,09, onde foram descontados os gastos com insumos (R$ 133.881,16), os custos de colheita (R$ 118.401,29), os custos administrativos (R$ 48.427,50) e os custos de beneficiamento (R$ 57.338,62). A produção de café do tipo cereja alcançou um total de 703,17 sacas de 60kg e uma produção total de 2.243,89 sacas de café.

A alocação dos insumos do melhor resultado (execução 4) e o tipo de colheita podem ser observados nas tabelas 11 e 12 respectivamente.

Tabela 11 Alocações dos insumos para o cenário 2 na quarta execução do Algoritmo Genético.

Talhões	Adubo e Controle
1	A9A15L1
2	A9A13L2
3	A7A15L1
4	A9A13L2
5	A9A15L1
6	A9A13L2
7	A9A15L1
8	A9A13L1

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 12 Mês e tipo de colheita do cenário 2 na quarta execução do Algoritmo Genético.

Talhões	Mês de Colheita	Tipo de Colheita
1	Setembro	Máquina
2	Setembro	Máquina
3	Setembro	Máquina
4	Julho	Máquina
5	Agosto	Máquina
6	Setembro	Máquina
7	Agosto	Máquina
8	Setembro	Máquina

Fonte: Dados da Pesquisa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado, os algoritmos genéticos são uma excelente forma de busca para problemas complexos, e quando combinados com um modelo matemático bem elaborado, os seus resultados são bem favoráveis.

Quando comparado os resultados aqui encontrados com outro que utilizou um método de busca diferente, a grande maioria dos resultados foram superiores a este outro resultado utilizado como fator comparativo, provando assim que o emprego dos algoritmos genéticos é uma forma

eficaz na busca de soluções para problemas complexos e eficiente, pois os resultados foram encontrados menos de 5 segundos.

5 AGRADECIMENTO

Agradeço a professora MSc. Cintia Carvalho Oliveira do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (campus de Patrocínio-MG) por ter me orientado no meu trabalho de conclusão de curso no qual foi possível a criação deste artigo.

REFERÊNCIAS

ARGOUD, A. R. T. T.; FILHO, E. V. G.; TIBERTI, A. J. Algoritmo genético de agrupamento para formação de módulos de arranjo físico. **Gest. Prod**, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 393-405, maio-ago. 2008.

FRADIQUE, G. N. **Algoritmos genéticos na maximização da qualidade da cana-de-açucar selecionada para corte**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) - Universidade de Uberaba, Uberaba-MG, 2012.

HALAL, S. L. M. E. **Composição, processamento e qualidade do café**. Pelotas-RS: Universidade Federal de Pelotas, 2008.

LACERDA, E. G. M.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Introdução aos algoritmos genéticos. *In.:* Galvão, C.O.; Valença, M. J.S. (Orgs.). **Sistemas inteligentes**: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1999. p. 99-150. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32518482/ag.pdf?1386655543=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DCAPITULO_3_INTRODUCAO_AOS_ALGORITMOS_GN.pdf&Expires=1609100850&Signature=UlQ6oJJG1zNlkN2xOeMujyhEihYbZR55XL3C2yBLwDKxKyDEMSsSexYiXaMkxoGB09kqQe9x6LSLKS53yWqCEo5b6zo4qcp6X1z~oVQ0jrhebhL8eD9AkrUfQp6cMAaPdx9nS78EarcBdBMO2rsTo~EmC1HOC9pFsJ33~cAF2uGaSLneOcBQaINXbaldYW6S7IctDX1YjhlhnmvtP7SqG~m26jeoVCctW8bgB0v4hQDUGYaBhSdvPHhdVNlvY36u~BSBuVzNvTgmqlhgonOV~zmew730C6Qf1y678SU45x494hEsSbdD9Sb-BV3kS-Y-NtZ1hfPkljH6XrTG5Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 27 dez. 2020.

LINDEN, R. **Algoritmos genéticos:** uma importante ferramenta da inteligência computacional. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

LUCAS, D. C. **Algoritmos genéticos:** uma introdução. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

MACHADO, E. S. **Modelagem Matemática e Resolução de Problemas**. Dissertação (Mestrado) – Pontifica Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2006.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **Café no Brasil**. Brasil: 2017. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira. Acessado em: 27 dez. 2020.

MILAN, P. **Modelagem matemática para otimização de cafés finos:** um estudo de caso. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2008.

OLIVEIRA, R. A. de. **Planejamento da conversão do café convencional para o orgânico:** um estudo de caso. 2012. 217 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2012.

PESTILI, L. C. **Algoritmos genéticos aplicados ao problema de roteirização de frotas de caminhões de lixo**. 2013. 81 f. Monografia (Graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM). Patrocínio-MG, 2013.

REIS, R. P.; REIS, A. J.; FONTES, R. E.; TAKAKI, H. R. C. *et al.* Custos de produção da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Revista de Administração da UFLA**, Lavras, v. 3, n. 1, jan./jun. 2001.

SANTOS, M. H. **Otimização do custo da colheita e transporte da cana-de-açúcar utilizando algoritmo genético binário**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade de Uberaba, Uberaba, 2013.

SOUZA, C. C.; NETO, J. F. R.; RODRIGUES, W. O. P.; RAMOS, F. S. Utilização dos algoritmos genéticos como ferramenta de otimização em problemas de roteirização. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v. 15, n. 5, p. 285-297, 2012.