

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE TECNOLOGIA EM VITICULTURA E ENOLOGIA

**OTIMIZAÇÃO LINEAR APLICADA NA PRODUÇÃO DE VINHOS DO
VALE DO SÃO FRANCISCO**

NÍVEA CUSTODIO RAMOS RIBEIRO

**PETROLINA, PE
2022**

NÍVEA CUSTODIO RAMOS RIBEIRO

**OTIMIZAÇÃO LINEAR APLICADA NA PRODUÇÃO DE VINHOS DO
VALE DO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção
de título de Tecnólogo em Viticultura e
Enologia.

**PETROLINA, PE
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R484 Ribeiro, Nívea Custodio Ramos.

Otimização linear aplicada na produção de vinhos do vale do São Francisco / Nívea Custodio Ramos Ribeiro. - Petrolina, 2022.
17 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Viticultura e Enologia) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2022.

Orientação: Prof. Msc. Alysson Lívio Vasconcelos Guedes.
Coorientação: Esp. Elis Tatiane da Silva Nogueira.

1. Enologia. 2. Otimização Linear. 3. Lucro. 4. Lucro. 5. Insumos enológicos. I. Título.

CDD 663.2

NÍVEA CUSTODIO RAMOS RIBEIRO

**OTIMIZAÇÃO LINEAR APLICADA NA PRODUÇÃO DE VINHOS DO
VALE DO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus* Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção de título de Tecnólogo em Viticultura e Enologia.

Aprovada em: 04 de fevereiro de 2022.

**Renata Gomes
de Barros Santos**

Assinado de forma digital por
Renata Gomes de Barros Santos
Dados: 2022.02.11 11:52:38
-03'00'

Renata Gomes de Barros Santos

**Alysson Livio
Vasconcelos Guedes:
05375031450**

Alysson Livio Vasconcelos
Guedes:05375031450
Eu estou aprovando este
documento
2022-02-10 10:18:20

Alysson Lívio Vasconcelos Guedes

**Elis Tatiane da
Silva Nogueira:
08246340476**

Assinado digitalmente por Elis Tatiane da Silva Nogueira:08246340476
DN: CN=Elis Tatiane da Silva Nogueira:08246340476, OU=IF SERTÃO-PE -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão
Pernambucano, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização:
Data: 2022-02-10 16:08:34
Foxit Reader Versão: 9.0.1

Elis Tatiane da Silva Nogueira

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar com saúde e força para nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus pais, Vilma e Francisco, pela compreensão e pelo apoio incondicional, não medindo esforços para a realização dos meus sonhos. Obrigado por serem minha referência de tantas maneiras.

A Prof.º Me. Alysson Lívio por me orientar com tamanha dedicação e por todo auxílio dado durante todo o processo de escrita.

A Prof.ª coorientadora Esp. Elis Tatiane, por todo apoio concedido na escrita deste trabalho, por todos os sábios ensinamentos e conselhos que me fizeram crescer não só profissionalmente, mas também como pessoa.

A Escola do Vinho pelo fornecimento de dados que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho

A Renata, coordenadora da Escola do Vinho, pelas valiosas contribuições na construção deste trabalho.

A todos os professores que foram essenciais no meu processo de formação profissional, por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

A todos os meus colegas do curso de graduação, por todo apoio e parceria nos inúmeros desafios que enfrentamos, em especial, Raquel e Daniella, sem vocês nada disso seria possível.

As minhas irmãs de alma, Taís e Juciária, amigas de décadas, por sempre me incentivaram a ir cada vez mais longe em busca da concretização dos meus sonhos.

A Bruno, meu parceiro de sempre, por todo carinho e amor, e por ser tão essencial em toda minha trajetória acadêmica.

A Enzo Kauã, meu quase filho, por me transmitir tamanha alegria e por ser um sobrinho tão compreensível e amável.

A minha segunda mãe e madrinha, Ivonisse, por todas as conversas motivacionais e por todos os cuidados concedidos.

A toda minha família por sempre acreditarem em mim e me apoiarem sempre que necessário. Todo meu carinho a vocês.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
2.1 Fontes de dados	7
2.1.1 Insumos utilizados na elaboração dos vinhos	8
2.1.2 Levantamento de valores dos insumos enológicos	9
2.2 Levantamento de valores por garrafa.....	9
2.3 Modelagem do problema.....	10
2.4 Restrições	11
2.5 USO DA FERRAMENTA OU PROGRAMA.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
3.1 Cenário real.....	13
3.2 Cenário I	14
3.3 Cenário II	15
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16

Otimização Linear aplicada na produção de vinhos do Vale do São Francisco

Linear optimization applied in the production of wines in the São Francisco Valley

Optimización lineal aplicada en la producción de vinos en el Valle de São Francisco

RESUMO

A qualidade do vinho fino produzido, está relacionada a uva utilizada e também as tecnologias empregadas no processo. Os insumos enológicos que são usados na elaboração garantem ao vinho um diferencial frente aos consumidores. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar o levantamento dos custos de insumos de produção da elaboração de vinhos finos, tintos e brancos, e uso de otimização linear para maximizar o lucro de produção. Foram coletados dados das quantidades de insumos utilizados em três vinhos finos, dois tintos Cabernet Sauvignon, Malbec e um branco Muscat Petit Grain, elaborados no Submédio do Vale do São Francisco. Para isto, foi elaborado um modelo de Otimização Linear com três cenários, no primeiro foi utilizado os dados reais da elaboração dos três vinhos, no segundo houve a restrição de garrafas e rolhas e no terceiro a restrição de um único insumo. Os resultados da programação matemática permitem prever a quantidade necessária de litros de cada tipo de vinho a ser elaborado para maximizar o lucro de acordo com cada cenário apresentado.

Palavras-chave: Otimização Linear; Lucro; Produção de vinhos; Insumos Enológicos.

ABSTRACT

The quality of the fine wine produced is related to the grape used and also to the technologies used in the process. The oenological inputs that are used in the elaboration guarantee the wine a differential in front of consumers. In this context, the objective of the present work was to carry out a survey of the costs of production inputs for the elaboration of fine, red and white wines, and the use of linear optimization to maximize production profit. Data were collected on the amounts of inputs used in three fine wines, two red Cabernet Sauvignon, Malbec and one white Muscat Petit Grain, produced in the Lower Middle of the São Francisco Valley. For this, a Linear Optimization model was elaborated with three scenarios, in the first one the real data of the elaboration of the three wines was used, in the second there was the restriction of bottles and corks and in the third the restriction of a single input. The results of the mathematical programming made it possible to predict the required amount of liters of each type of wine to be made to maximize profit according to each scenario presented.

Keywords: Linear Optimization; Profit; Wine Production; Enological Inputs.

RESUMEM

La calidad del vino fino producido está relacionada con la uva utilizada y también con las tecnologías utilizadas en el proceso. Los insumos enológicos que se utilizan en la elaboración garantizan al vino un diferencial frente a los consumidores. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue realizar un levantamiento de los costos de los insumos de producción para la elaboración de vinos finos, tintos y blancos, y el uso de la optimización lineal para maximizar la ganancia de producción. Se recogieron datos sobre las cantidades de insumos utilizados en tres vinos finos, dos tintos Cabernet Sauvignon, Malbec y un blanco Moscatel de Grano Pequeño, producidos en el Medio Bajo del Valle del São Francisco. Para ello, se elaboró un modelo de Optimización Lineal con tres escenarios, en el primero se utilizaron los datos reales de la elaboración de los tres vinos, en el segundo la restricción de botellas y corchos y en el tercero la restricción de un solo vino aporte. Los resultados de la programación matemática permiten predecir la cantidad de litros necesarios de todo tipo de vino a producir para maximizar la rentabilidad según cada escenario presentado.

Palabras clave: Optimización Lineal; Lucro; Producción de Vino; Insumos Enológicos.

1. Introdução

Nos últimos anos a produção de vinhos no Brasil esteve crescendo consideravelmente, isto pode ser explicado pelos avanços que ocorreram ao longo dos tempos, como a expansão para novas regiões (Camargo et al., 2011). A produtividade anual de vinhos, atualmente no país, gira em torno de 330 milhões de litros (Mello & Machado, 2019).

Dentre a produção total de vinhos produzidos no Brasil, cerca de 37 milhões de litros são de vinhos finos tranquilos. Sendo que desse valor 46% são tintos e 54% brancos (Bortoletto, 2021). Segundo a portaria n. 229/88 do Ministério da Agricultura e Pecuária, os vinhos finos são elaborados exclusivamente com uvas *Vitis viniferas* L (Brasil, 1998). Guerra (2018) estima que cerca de 60% das vinícolas existentes no país produzam vinhos finos tranquilos.

O Brasil é um País onde a vitivinicultura é praticada em distintas regiões. Podendo ser classificada de acordo com suas condições climáticas e o manejo (Carbonneau et al., 2015). Dentre as regiões produtoras de vinhos, o Submédio Vale do São Francisco é uma região de clima tropical considerada a segunda maior região produtora de vinhos finos no país (Biasoto *et al.*, 2014).

O Vale do São Francisco é uma região que se destaca por ter duas safras e meia por ano. São elaborados anualmente, em média, 4 milhões de litros de vinhos finos (Pereira et al., 2013). Nesta região, 29% dos vinhos são tintos, e os vinhos brancos ocupam apenas 1% na produção anual, seja ele seco ou suave (Souza & Barros, 2021).

A qualidade do vinho fino produzido, está relacionada a uva utilizada e também as tecnologias empregadas no processo. Os insumos enológicos que são usados na elaboração garantem ao vinho um diferencial frente aos consumidores, aumentando consideravelmente seu destaque no mercado (Dachi, 2015).

De acordo com Carvalho e Soares (2011) a cadeia produtiva vitivinícola é a soma dos segmentos de produção da uva, elaboração de vinho e sua comercialização. O planejamento e o controle de produção ajudam a dimensionar os custos/valores de produção por tipo de vinho (Mareth et al., 2012). Pode-se aplicar o modelo matemático de otimização linear combinando em uma função, os valores e quantidades de insumos utilizados na elaboração de vinhos tintos e brancos, determinando a maximização do seu lucro.

Em outros usos de otimização matemática na enologia, Ferrer et al., (2008) otimizam as operações de colheita da uva, levando em conta os custos operacionais e a qualidade da uva, usando programação linear para dar suporte ao agendamento de colheita, alocação de mão de obra e decisões de rota.

A Programação Linear é um modelo matemático importante na Programação Matemática (Otimização), aplicado em inúmeros setores. O modelo se caracteriza pela existência de objetivos que podem ser expressos pelas variáveis de um determinado problema. O processo visa a maximização ou otimização de uma Função Objetivo (Maculan & Fampa, 2006).

O modelo de Programação Linear é usado como forma de auxílio nas resoluções de problemas que contenham atribuições dos recursos limitados, afim de alcançar um propósito (Corrar & Garcia, 2001). Souza e Clemente (1998) afirmam que esse problema, cuja a programação linear promove uma solução, em geral, se resume a maximizar ou minimizar alguma variável dependente sujeita a muitas restrições.

A programação linear é uma técnica de otimização utilizada a fim de descobrir o lucro máximo ou o custo mínimo (Prado, 2016). Além disso, a modelagem linear pode ajudar com a relação de combinações entre diversos produtos para planejamento de demandas. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar o levantamento dos custos de insumos de produção da elaboração de vinhos finos, tintos e brancos, e uso de otimização linear para maximizar o lucro de produção.

2. Metodologia

2.1 Fontes de dados

Foram coletados dados das quantidades de insumos utilizados em três vinhos finos, dois tintos, Cabernet Sauvignon e Malbec e um branco, Muscat Petit Grain, elaborados no Submédio do Vale do São Francisco pela Escola do Vinho do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, em parceria com uma vinícola do nordeste brasileiro.

2.1.1 Insumos utilizados na elaboração dos vinhos

Foram realizados o levantamento de insumos enológicos utilizados durante a elaboração dos vinhos tintos e branco. A tabela 1 apresenta o levantamento.

Tabela 1 -Insumos enológicos utilizados na elaboração dos vinhos Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain

Insumo	Vinho tinto Cabernet Sauvignon	Vinho tinto Malbec	Vinho branco Muscat Petit Grain
Uva Cabernet Sauvignon	5000kg		
Uva Malbec		1605kg	
Uva Muscat Petit Grain			933 kg
Enzima Pectolítica (L)	0,2L	0,04815L	0,07464L
Dióxido de Enxofre	0,57kg	0,1963kg	0,12248kg
Compostos Nitrogenados	1kg	0,321kg	0,08265kg
Ácido tartárico			0,41325kg
Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,0651kg	0,01755kg	0,00826kg
Polivinilpirrolidona (PVPP)			0,0288kg
Bentonite			0,672kg
Stabigum	1,302kg	0,36kg	
Gelatina		0,175	
Garrafas e rolhas (Unidade)	4340 un.	1173 un.	551 un.
Total em volume	3255L	879,75L	413,25L

Fonte: Escola do Vinho IF Sertão (2021)

Cada insumo enológico foi dosado em fases diferentes durante o processo de elaboração das bebidas. A figura 1 apresenta o fluxograma de elaboração detalhando a etapa em que foram dosados os insumos.

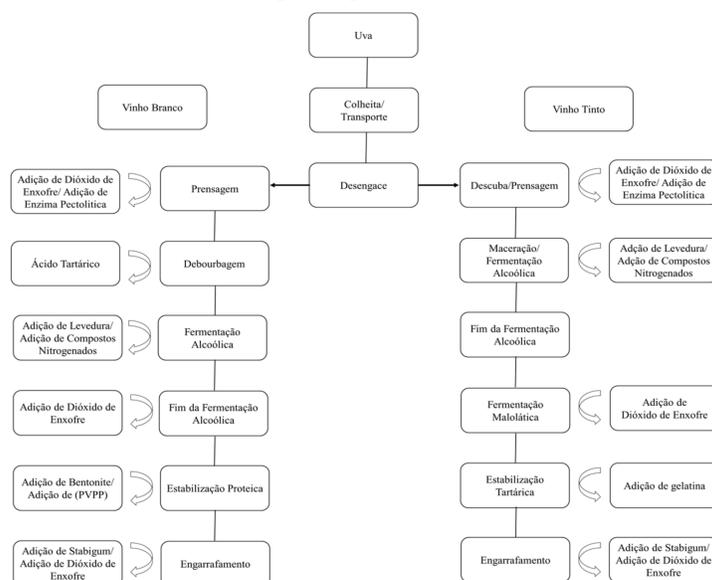


Figura 1-Fluxograma de e brancos elaboração de vinhos tintos

Fonte: Autores (2022)

2.1.2 Levantamento de valores dos insumos enológicos

Os insumos utilizados na elaboração dos três vinhos finos foram comprados em empresas especializadas. O levantamento dos valores de cada um foi obtido a partir da cotação feita pela Escola do Vinho, encontrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Insumos usados na produção dos vinhos Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain e seus respectivos levantamentos de preços

INSUMOS	CUSTO
Uva Cabernet Sauvignon (kg)	R\$ 2,50
Uva Malbec (kg)	R\$ 2,50
Uva Muscat Petit Grain (kg)	R\$ 2,50
Enzima Pectolítica (L)	R\$ 195,01
Dióxido de Enxofre (kg)	R\$ 23,00
Compostos Nitrogenados (kg)	R\$ 87,96
Ácido Tartárico (kg)	R\$ 107,76
Levedura (kg)	R\$ 335,03
(PVPP) (kg)	R\$ 153,00
Bentinite (kg)	R\$ 5,00
Gelatina (kg)	R\$ 39,99
Stabigum (kg)	R\$ 160,00
Garrafas (Un)	R\$ 4,715
Rolhas (Un)	R\$ 0,33439

Fonte: Escola do Vinho IF Sertão (2021)

2.2 Levantamento de valores por garrafa

Dada a produção de cada um dos três vinhos, foi obtida a quantidade utilizada de cada insumo e dividida pelo número de garradas produzidas. O quadro 3 apresenta a quantidade média de insumos gastos por garrafa.

Quadro 2 - Gasto médio de insumos e variedade de uva por garrafa de vinho produzida na Escola do Vinho – 2021

Insumos (kg)	CABERNET SAUVIGNON (0,750L)	MALBEC (0,750L)	MUSCAT PETIT GRAIN (0,750L)
Uva Cabernet Sauvignon	1,15207	-	-
Uva Malbec	-	1,36829	-
Uva Muscat Petit Grain	-	-	1,69328
Enzima Pectolítica (L)	0,00005	0,00004	0,00014

Dióxido de Enxofre	0,00013	0,00017	0,00022
Compostos Nitrogenados	0,00023	0,00027	0,00015
Ácido tartárico	-	-	0,00075
Levedura (PVPP)	0,00002	0,00002	0,00002
Bentonite	-	-	0,00122
Stabigum	0,00030	0,00031	-
Gelatina	0	0,00015	0
Garrafas (unidade)	1	1	1
Rolhas (unidade)	1	1	1

Fonte: Autores (2022)

O custo de produção de uma garrafa de vinho é a soma de todos os gastos de uma vinícola em uma elaboração da bebida. Porém, neste estudo, considerou-se apenas o custo com os insumos enológicos, descartando os vários outros gastos do processo produtivo. O valor do custo de produção de cada garrafa dado na Tabela 2 foi obtida a partir da soma da multiplicação do quantitativo usado de cada insumo, em cada garrafa, por seu respectivo preço.

Tabela 2- Custo médio de produção por unidade de variedades de vinho produzidos na Escola do Vinho – 2021

	CABERNET SAUVIGNON (0,750L)	MALBEC (0,750L)	MUSCAT PETIT GRAIN (0,750L)
Custo de Produção	R\$ 8,01	R\$ 8,57	R\$ 9,43

Fonte: Autores (2022)

Considerando o valor de venda de cada garrafa, independente da variedade, por R\$ 49,00. O Lucro apresentado na Tabela 3 é o resultado da subtração deste valor pelo custo de produção de cada garrafa de vinho.

Tabela 3 - Lucro médio de produção por unidade de variedades de vinho produzidos na Escola do Vinho – 2021

	CABERNET SAUVIGNON (0,750L)	MALBEC (0,750L)	MUSCAT PETIT GRAIN (0,750L)
Lucro	R\$ 40,99	R\$ 40,43	R\$ 39,57

Fonte: Autores (2022)

2.3 Modelagem do problema

A função objetivo buscou maximizar o lucro da produção dos três vinhos, Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, com base no número de unidades produzidas de cada um deles, encontrando assim, a quantidade que se deve produzir de cada vinho para que esse lucro seja maximizado de acordo com Maculun (2006). O quadro 3 apresenta a função objetivo da modelagem do problema.

Quadro 3 - Identificação da função-objetivo do modelo matemático

Objetivo	Função
Maximizar	$F_{obj}=40,99x_1+40,43x_2+39,57x_3$

Fonte: Autores (2022)

A função objetivo correspondeu ao somatório do produto entre o lucro por garrafa de um tipo de vinho e o seu respectivo número de garrafas produzidas. Tendo como variáveis de decisão x_1 , x_2 e x_3 a quantidade de garrafas produzidas dos vinhos Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, respectivamente. Sendo x_1 , x_2 e x_3 valores do conjunto dos números Naturais.

2.4 Restrições

A função objetivo está sujeito as seguintes restrições associadas ao gasto cada insumo (Quadro 2). A maximização do lucro foi restringida pela quantidade de cada insumo, sendo os valores de b_1 , ..., b_{14} a quantidade total dos insumos utilizados por garrafa, encontrados no quadro 4.

Quadro4 - Restrições da função-objetivo do modelo matemático

Restrições	Variáveis
$1,15207 x_1 + 0,00000 x_2 + 0,00000 x_3 \leq b_1$	Uva Cabernet Sauvignon
$0,00000 x_1 + 1,36829 x_2 + 0,00000 x_3 \leq b_2$	Uva Malbec
$0,00000 x_1 + 0,00000 x_2 + 1,69328 x_3 \leq b_3$	Uva Muscat Petit Grain
$0,00005 x_1 + 0,00004 x_2 + 0,00014 x_3 \leq b_4$	Enzima Pectolítica
$0,00013 x_1 + 0,00017 x_2 + 0,00022 x_3 \leq b_5$	Dióxido de Enxofre
$0,00023 x_1 + 0,00027 x_2 + 0,00015 x_3 \leq b_6$	Compostos Nitrogenados
$0,00000 x_1 + 0,00000 x_2 + 0,00075 x_3 \leq b_7$	Ácido tartárico
$0,00002 x_1 + 0,00002 x_2 + 0,00002 x_3 \leq b_8$	Levedura
$0,00000 x_1 + 0,00000 x_2 + 0,00005 x_3 \leq b_9$	PVPP
$0,00000 x_1 + 0,00000 x_2 + 0,00122 x_3 \leq b_{10}$	Bentonite
$0,00030 x_1 + 0,00031 x_2 + 0,00000 x_3 \leq b_{11}$	Stabigum
$0,00000 x_1 + 0,00015 x_2 + 0,00000 x_3 \leq b_{12}$	Gelatina
$1,00000 x_1 + 1,00000 x_2 + 1,00000 x_3 \leq b_{13}$	Garrafas
$1,00000 x_1 + 1,00000 x_2 + 1,00000 x_3 \leq b_{14}$	Rolhas

$x_1, x_2 \text{ e } x_3 \geq 0$	Variáveis de decisão
----------------------------------	----------------------

Fonte: Autores (2022)

Definiu-se b_1 , b_2 e b_3 sendo a quantidade disponível das uvas Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, respectivamente, assim como, b_4 a quantidade Enzima Pectolítica, b_5 a quantidade de Dióxido de Enxofre, b_6 a quantidade de Compostos Nitrogenados, b_7 a quantidade de Ácido tartárico, b_8 a quantidade de Levedura, b_9 a quantidade de (PVPP), b_{10} a quantidade de Bentonite, b_{11} a quantidade de Stabigum, b_{12} a quantidade de Gelatina e b_{13} e b_{14} a quantidade de Garrafas e Rolhas.

A quantidade desses insumos foi definida de acordo com as diferentes situações criadas para cada cenário, obtendo o valor da quantidade de cada vinho a ser elaborado que maximiza o lucro.

2.5 Uso da ferramenta ou programa

A função objetivo e suas restrições foram implementadas no software livre R (Team, 2013) com auxílio do pacote IpSolve (Berkelaar, 2020).

3. Resultados e Discussão

O modelo de Otimização Linear retornou a quantidade de garrafas de 750ml que devem ser produzidas, obtendo um lucro máximo, baseado na quantidade de insumos que se tem disponível para a produção. Bastos et al. (2013) aplicam a modelagem matemática em uma indústria cervejeira. Como forma de aumentar o lucro, a resultante obtida foi uma modelagem de maximização da receita. Os resultados apontaram que a demanda estipula a quantidade de ingredientes utilizados para a fabricação da cerveja, tornando possível obter análise da receita para vários tipos de demanda.

Mareth et al. (2012) para evidenciar a contribuição dos modelos de previsão de demanda e da programação matemática para o controle e planejamento da produção em uma vinícola, foi simulado alguns cenários tornando possível se ter uma visão sistêmica dos processos e dos impactos que cada alteração poderá trazer à empresa. Desta forma, foi possível simular variações para exemplificar as contribuições da programação matemática nas tomadas de decisões.

Foram elaborados, além do cenário real, outros dois cenários para verificar as possíveis variações no número de garrafas e, observar os resultados que cada restrição pode apresentar. Nestes cenários não há a análise de fatores externos como oferta e demanda, pois o modelo utilizado se baseia somente em lucro.

No cenário real foi utilizado os dados da elaboração dos três vinhos usados como base para este trabalho. No cenário I foi estipulado as quantidades de cada uva em kg para serem iguais, a fim de se observar qual dos três vinhos terá prioridade de produção, evidenciando assim, o vinho mais lucrativo. Por fim, foi elaborado o cenário II foi limitado a quantidade dos compostos nitrogenados para observar como a restrição de apenas um insumo pode guinar a produção.

3.1 Cenário real

Neste cenário foram tomados como restrições as quantidades reais de cada uva usada na produção dos vinhos usados como fonte deste trabalho. Sendo b_1 , b_2 e b_3 , respectivamente, a quantidade disponível das uvas Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain. Assim como os demais insumos são dados em quantidades reais das dosagens da elaboração dos três vinhos e um total de 10.000 unidades de garrafas e rolhas conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Restrições de insumos para o cenário real

b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}
5.000	1.605	933	0.32279	0.88878	1.40365	0.41325	0.09096	0.0288	0.672	1.662	175	10.000	10.000

Fonte: Autores (2022)

Na tabela 5 mostra que o modelo sugeriu a produção do número idêntico de garrafas produzidas na ocasião.

Tabela 5 - Número de garrafas de vinhos e litros que maximizam o lucro no cenário real

	Vinho			Total
	Cabernet Sauvignon	Malbec	Muscat Petit Grain	
Unidades (750ml)	4.340	1.173	551	6.064
Volume(L)	3.255,00	879,75	413,25	4.548,00

Fonte: Autores (2022)

Substituindo os valores unitários da tabela 4 Cabernet Sauvignon (x_1), Malbec (x_2) e Muscat Petit Grain (x_3) na função objetivo, se tem um Lucro de R\$ 247.083,60.

Mesmo considerando uma disponibilidade de 10.000 garrafas e rolhas, neste cenário, o modelo matemático considera os dados reais da elaboração dos três vinhos finos e o resultado obtido foi limitado pela quantidade de insumos usados em cada produção, de acordo com a quantidade total de uva por cada tipo de vinho. Neste caso, só é possível elaborar os mesmos 3.255L do vinho Cabernet Sauvignon, assim como, a mesma quantidade de 879,75 L do vinho Malbec e também, os 413,25L do vinho Muscat Petit Grain, utilizado um total de 6.064 garrafas e rolhas.

3.2 Cenário I

Nesse cenário a fim de se descobrir qual é o vinho mais lucrativo, foi suposto uma quantidade de 5.000 kg para cada variedade de uva. Foi disposto uma disponibilidade muito acima da necessária, 10kg para cada insumo e restringido a quantidade de garrafas e rolhas para o máximo de 10.000 unidades, apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Restrições de insumos para o Cenário I

b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}
5.000	5.000	5.000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.000	10.000

Fonte: Autores (2022)

O resultado do Cenário I está disposto na tabela 7 e apresenta a quantidade de vinho a ser produzido que maximizam o lucro.

Tabela 7 - Número de garrafas de vinhos e litros que maximizam o lucro no Cenário I

	Vinho			Total
	Cabernet Sauvignon	Malbec	Muscat Petit Grain	
Unidades (750ml)	4.340	3.654	2.006	10.000
Volume(L)	3.255,00	2.738,25	1.506,75	7.500,00

Fonte: Autores (2022)

Da função objetivo se obteve R\$ 40.5005,20 de lucro.

Simulando que as três variedades de uva sejam ofertadas em uma quantidade maior, sendo igualadas a quantidade real da uva Cabernet Sauvignon 5.000kg, ao limitar as garrafas e rolhas em um total de 10.000 unidades cada, recomenda-se produzir todo o vinho tinto Cabernet Sauvignon, obtendo a mesma quantidade de 3.255 L de vinho do cenário real. Com as garrafas que sobraram, recomenda-se produzir 2.738,25L do vinho Malbec e 1.506,75L do vinho Muscat Petit Grain.

Esse resultado mostra que, observando apenas a fase produtiva, o vinho mais lucrativo é o vinho tinto Cabernet Sauvignon e por isso deve-se ter prioridade na produção. Isto pode ser justificado devido ao vinho tinto em questão ter um menor custo com insumos do que os demais, logo o lucro é maior.

O vinho tinto Malbec ocupa o segundo lugar na ordem de prioridade de produção, já que ele só não obteve maiores custos com insumos do que o vinho Muscat Petit Grain. Em sua elaboração, além de ter dosagens maiores do que o vinho Cabernet Sauvignon nos insumos usados, foi preciso dosar um insumo a mais, a gelatina, logo o custo é maior. Já o vinho branco Muscat Petit Grain é o menos lucrativo, pois sua elaboração foi a que obteve mais custos por necessitar de mais insumos do que os tintos e, por vezes, em dosagens maiores.

3.3 Cenário II

Foi repetido as quantidades de uvas, rolhas e garrafas do cenário anterior, limitados pela disponibilidade do insumo compostos nitrogenados, reduzidos para apenas 1kg. Os outros insumos seguem a mesma quantidade de 10kg cada, encontrados na tabela 8.

Tabela 8 - Restrições de insumos para o Cenário II

b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	b ₉	b ₁₀	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄
5.000	5.000	5.000	10	10	10	1	10	10	10	10	10	10.000	10.000

Fonte: Autores (2022)

Na tabela 9 mostra que o vinho Muscat Petit Grain como o mais lucrativo nesse cenário e apresenta a quantidade a ser produzida de cada vinho que maximiza o lucro.

Tabela 9 - Número de garrafas de vinhos e litros que maximizam o lucro no Cenário II

	Vinho			Total
	Cabernet Sauvignon	Malbec	Muscat Petit Grain	
Unidades (750ml)	2.418	0	2.952	5.370
Volume(L)	1.813,50	0,00	2.214,00	4.027,50

Fonte: Autores (2022)

Da função objetivo se obteve R\$ 215.924,50 de lucro.

Ao restringir os Compostos Nitrogenados, insumo utilizado na elaboração dos três vinho, porém em dosagens diferentes, das 10.000 garrafas e rolhas disponíveis, neste cenário, foi utilizado apenas 5.370 unidades, produzindo somente dois tipos de vinhos. Isso pode ser justificado devido ao insumo em questão ser ofertado pela metade da quantidade necessária para a elaboração de toda uva dos três vinhos.

Mesmo o vinho branco Muscat Petit Grain obtendo menor lucro do que os vinhos tintos, o modelo priorizou a sua produção obtendo um total de 2.214L deste vinho. Por ser o vinho que exige menor quantidades do insumo limitado, é possível produzir todo ele e ainda sobrar garrafas para elaborar 1.813,50L do vinho mais lucrativo, que é o vinho tinto Cabernet Sauvignon. Desta forma, foi possível engarrafar uma maior quantidade de vinho, obtendo assim, a maximização do lucro.

4. Considerações Finais

A Programação Linear permite balizar as tomadas de decisões permitindo ser aplicada para se obter a maximização do lucro em diversos setores, este estudo apresentou um modelo matemático que maximiza a produção de vinhos finos tintos e brancos elaborados no Vale do São Francisco, respeitando restrições impostas.

Em um cenário em que se toma como base apenas o lucro, verificou-se que os vinhos finos tintos Cabernet Sauvignon, seguido do Malbec, se sobressaíram em relação ao vinho fino branco Muscat Petit Grain, isso pode ser justificado devido aos vinhos tintos terem um menor custo com insumos do que o branco. Em uma outra situação, ao restringir o insumo compostos nitrogenados, o vinho branco fino Muscat Petit Grain obteve um resultado satisfatório uma vez que para esse vinho ser elaborado foi preciso de menos quantidades deste insumo do que os vinhos tintos, possibilitando atingir maiores quantidades de vinho engarrafado e, conseqüentemente, maiores valores nas vendas.

A simulação de cenários em vinícolas pode possibilitar que gestores prevejam, antecipadamente, a quantidade necessária de garrafas de vinhos a serem produzidas para se ter um maior lucro de acordo com cada situação que vier a surgir. Fica o desafio de criar novos trabalhos com modelos mais complexos considerando oferta e demanda para se ampliar a interdisciplinaridade da enologia com a Programação Matemática. Pode-se aumentar a utilização de variáveis e englobar um maior número de insumos de produção, adicionando também outras restrições como limitações de barricas de carvalho, tanques de armazenamento, limitante de valor de investimento, horas de trabalho e etc.

Referências

- Bastos, L. D. S. L., Mendes, M. L., Ribeiro, V. G., Assuncao, M. H. C. & Santos, Y. B. I. (2013). Programação Linear de Produção para Maximização de Receita: Estudo de Caso em uma Cervejaria Artesanal. In *XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Salvador, BA https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-S-Lhttps://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/portaria-no-229-de-25-de-outubro-de-1988.doc-Bastos/publication/301324972_Programacao_Linear_de_Producao_para_Maximizacao_de_Receita_Estudo_de_Caso_em_uma_Cervejaria_Artesanal/links/5711c4a608acebe07c02496d/Programacao-Linear-de-Producao-para-Maximizacao-de-Receita-Estudo-de-Caso-em-uma-Cervejaria-Artesanal.pdf
- Berkelaar, M. et al. (2020). *lpSolve*: Interface to 'Lp_solve' v. 5.5 to Solve Linear/Integer Programs. R package version 5.6.15. <https://CRAN.R-project.org/package=lpSolve>
- Biasoto, A., Pereira, G., Oliveira, J. B., Menezes, T. R. & Leao, P. D. S. (2014). Efeitos da desfolha e desponte de ramos sobre a composição físico química de Syrah elaborados em dois ciclos de produção no Vale do São Francisco. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: *Congresso Brasileiro de Fruticultura, 23. Fruticultura: oportunidades e desafios para o Brasil*. Cuiabá: SBF. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/995962/1/patricia2.pdf>
- Bortoletto, A. M., Hunoff, T. S. & Alcarde, A. R. (2012). Processos de vinificação para a obtenção de vinhos de qualidade no Brasil. *Visão Agrícola* (14), 86-90. <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va-14-processos-de-vinificacao.pdf>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (1988). Portaria nº 229, de 25 de outubro de 1988. [Aprova as normas referentes à complementação dos padrões de identidade e qualidade do vinho; Revoga a Portaria 84, de 25 de abril de 1988, publicada no DOU de maio de 1988]. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, 20948-20948. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/portaria-no-229-de-25-de-outubro-de-1988.doc>
- Camargo, U. A., Toniello, J. & Hoffmann, A. (2011). Progressos na viticultura brasileira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 144-149. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500017>
- Carbonneau, A., Deloire, A., Torregrosa, L., Jaillard, B., Pellegrino, A., Metay, A., ... & Abbal, P. (2015). *Traité de la vigne: physiologie, terroir, culture* (No. 2ème ed., pp. 592-p).
- Carvalho Junior, L. C., & Soares, M. M. (2011). A cadeia produtiva de uvas e vinhos de Santa Catarina: uma análise das transformações entre os seus segmentos. *Textos de Economia*, 14(1), 103-117. <https://doi.org/10.5007/2175-8085.2011v14n1p103>
- Corrar, L. J., & Garcia, E. A. D. R. (2001). Programação linear: uma aplicação à contabilidade de custos no processo de tomada de decisão. In: *Congresso Internacional de Custos*, 7, León. <https://www.intercostos.org/documentos/congreso-07/Trabajo066.pdf>
- Dachi, Â. P. (2015). *Utilização de taninos enológicos e chips de carvalho na vinificação de uva 'alicante bouschet'* [Trabalho de Conclusão (Graduação) – Curso de Bacharelado em Enologia, Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS] <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/2585>
- Ferrer, J. C., Mac Cawley, A., Maturana, S., Toloza, S., & Vera, J. (2008). An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 985-999. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.020>
- Guerra, C. C. (2018). A Estrutura de Elaboração dos Vinhos no Brasil. Caracterização Tecnológica. *Territoires du vin*, (9). <http://preo.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/index.php?id=1539>
- Maculan, N., & Fampa, M. H. C. (2006). *Otimização linear*. Editora Universidade de Brasília: Brasília.
- Mareth, T., Silva Carvalho, N. A., Lobato, P. T. C., & Pizzolato, N. D. (2012). Planejamento e controle da produção de vinho utilizando modelos de previsão de demanda e programação matemática. In XIX Anais do Congresso Brasileiro de Custos. In: *XIX Congresso Brasileiro de Custos, 19*. Bento Gonçalves-RS. <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/350/350>
- Mello, L. M. R., & Machado, C. A. E. (2021, 9 de julho). *Banco de dados de uva, vinho e derivados*. Quantidade de uvas processadas no Rio Grande do Sul. <http://vitibrasil.cnpv.embrapa.br/index.php>
- Prado, D. (2016). *Programação linear* (Vol. 1). Falconi Editora.
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Souza, A., & Clemente, A. (1998). Contextos, paradigmas e sistemas de custeio. In Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. In: *Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos*, 5, Fortaleza, CE. <https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/3288>
- Souza Leão, P. C., Marques, A. T. B., & Barros, A. P. A. (2021). Cultivares de videira para a elaboração de vinhos finos para o Submédio do Vale do São Francisco. *Circular Técnica Embrapa*, 128, 1-25. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225749/1/Cultivares-de-videira-CT-128-2021.pdf>