

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Anthony Carvalho Catti

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROMEL COM
CARACTERÍSTICAS SIMILARES A BEBIDAS READY-TO-DRINK: UMA PROPOSTA
INOVADORA PARA O MERCADO BRASILEIRO DE BEBIDAS**

Belo Horizonte

2025

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROMEL COM
CARACTERÍSTICAS SIMILARES A BEBIDAS READY-TO-DRINK: UMA PROPOSTA
INOVADORA PARA O MERCADO BRASILEIRO DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Química do Instituto de Ciências
Exatas, da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel
em Química Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Bruno
Gonçalves Botelho

Coorientadora: Ludmila
Sousa Lopes

Belo Horizonte
2025

Ata da sessão de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Química Tecnológica da Universidade Federal de Minas Gerais, do aluno Anthony Carvalho Catti, nº de registro 2020052436.

Ao 01 (primeiro) dia do mês de dezembro de 2025 (dois mil e vinte e cinco) realizou-se, a partir das 16:00h, de forma virtual, a sessão de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno **Anthony Carvalho Catti**, intitulado “**Desenvolvimento e caracterização de hidromel com características similares a bebidas ready-to-drink: uma proposta inovadora para o mercado brasileiro de bebidas**”. A Banca Examinadora constituiu-se por Dr. Glaucimar Alex Passos de Resende (University of Liège - ULiège, Bélgica), Profa. Letícia Malta Costa (DQ - UFMG), Me. Ludmilla Sousa Lopes (DQ – UFMG), coorientadora do trabalho de conclusão de curso, e Prof. Bruno Gonçalves Botelho (DQ - UFMG), orientador do trabalho de conclusão de curso. De acordo com o Regulamento do Curso, o Presidente da Banca abriu a sessão, passando a palavra ao candidato, que fez a exposição do seu trabalho. Em seguida, foi realizada a arguição pelos examinadores na ordem registrada acima, com a respectiva defesa do candidato. Finda a arguição, a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença do candidato e do público, atribuindo a nota ____ pontos pelo trabalho realizado. Nada mais havendo para constar, lavrou-se a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo Coordenador do Curso.

Belo Horizonte, 01 de dezembro de 2025.

**Bruno G.
Botelho**

Assinado de forma digital
por Bruno G. Botelho
Dados: 2025.12.09
17:50:21 -03'00'

Prof. Bruno Gonçalves Botelho

Documento assinado digitalmente



LUDMILLA SOUSA LOPES
Data: 08/12/2025 19:27:58-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Me. Ludmilla Sousa Lopes

Documento assinado digitalmente



GLAUCIMAR ALEX PASSOS DE RESENDE
Data: 09/12/2025 04:28:49-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Glaucimar Alex Passos de Resende

Documento assinado digitalmente



LETICIA MALTA COSTA
Data: 09/12/2025 12:12:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Letícia Malta Costa

Prof. Dario Windmöller

**Coordenador dos Cursos de Graduação em Química e Química Tecnológica
ICEx –UFMG**

AGRADECIMENTOS

Por este trabalho agradeço a todos os apoiadores do Labeer: Professor Bruno, Ludmilla, Bruna e Lorena.

Pela graduação agradeço a todos os meus professores que contribuíram positivamente para minha formação e pelo corpo administrativo da universidade, que os dão suporte. Agradeço também a UFMG por ter sido tão grandiosa.

Pelo apoio durante o curso agradeço aos meus amigos que aqui fiz: Bárbara, Melyssa, Emilly, Duda e Dival.

Pelo suporte que me permitiu chegar à graduação e concluí-la agradeço a todos os meus relevantes amigos e familiares, em especial a minha mãe e meu padrasto. Agradeço aos vários locais que me abriram as portas para que eu trabalhasse de modo mais maleável nessa jornada.

À Deus agradeço, mas por muito mais que isso.

“Ora, lege, lege, lege, relege, labora et invenies”

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar hidroméis com características similares a bebidas *Ready-to-Drink (RTD)*, avaliando o efeito do °Brix e da adição de extrato de polpa de maracujá azedo sobre parâmetros físico-químicos e fermentativos. O estudo foi conduzido por meio de um planejamento experimental fatorial 2^2 com ponto central, em que as variáveis independentes foram o °Brix inicial (10 a 14) e o teor de polpa (5 a 15% v/v), enquanto as respostas analisadas incluíram teor alcoólico, acidez total, fixa e volátil, e teores de açúcares redutores e não redutores. Os parâmetros foram avaliados conforme a Instrução Normativa nº 34/2012 (MAPA) e aos intervalos relatados na literatura para hidroméis. Os resultados mostraram que o °Brix exerceu influência positiva sobre o teor alcoólico, enquanto a polpa de maracujá aumentou significativamente a acidez total e fixa, reduzindo a acidez volátil. As formulações com °Brix intermediário e 10% de polpa apresentaram o melhor equilíbrio entre teor alcoólico ($\approx 6,2$ % v/v) e acidez, além de adequada estabilidade fermentativa, confirmando a viabilidade técnica e tecnológica do uso de polpa de maracujá como suplemento natural, resultando em hidroméis equilibrados, estáveis e com potencial para aplicação no mercado de bebidas RTD.

Palavras-chave: Fermentação, coquetéis, maracujá, quimiometria.

SUMÁRIO

Sumário

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL:	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	11
3. REFERENCIAIS TEÓRICOS	12
3.1 HIDROMEL.....	12
3.3 READY-TO-DRINK	16
3.3. MARACUJÁ	17
4 PARTE EXPERIMENTAL.....	20
4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	20
4.2 PRODUÇÃO DO HIDROMEL.....	22
4.2.1 INGREDIENTES, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	22
4.2.2 ACOMPANHAMENTO DA FERMENTAÇÃO	25
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO HIDROMEL	25
4.3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO	25
4.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AÇÚCARES	26
4.3.2.1 AÇÚCARES TOTAIS.....	26
4.3.2.2 AÇÚCARES REDUTORES.....	26
4.3.2.3 AÇÚCARES NÃO REDUTORES	28
4.3.3 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ	28
4.3.3.1 ACIDEZ TOTAL	28
4.3.3.2 ACIDEZ FIXA	29
4.3.3.3 ACIDEZ VOLÁTIL	29
4.3.4 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS	29
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 ACOMPANHAMENTO DA FERMENTAÇÃO	32
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	34

5.2.1	TEOR ALCOÓLICO	34
5.2.2	TEORES DE AÇÚCARES.....	37
5.2.3	ACIDEZ	41
5.2.4	COMPOSTOS VOLÁTEIS	46
5.3	RESULTADOS FINAIS	52
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O hidromel é uma das bebidas alcoólicas mais antigas conhecidas pela humanidade, obtida a partir da fermentação de uma solução de mel, água e leveduras (RAMALHOSA et al., 2011). Segundo o Decreto nº 6.871/2009 (BRASIL, 2009), trata-se de uma bebida com graduação alcoólica entre 4 % e 14 % v/v, cujos padrões de identidade e qualidade são regulamentados pela Instrução Normativa nº 34/2012 (BRASIL, 2012). Apesar de sua relevância histórica e cultural, o consumo de hidromel no Brasil ainda é restrito, em contraste com o crescente interesse por bebidas fermentadas artesanais e de menor teor alcoólico (MESQUITA et al., 2025).

Nos últimos anos, as chamadas Ready-to-Drink (RTD) — bebidas alcoólicas mistas prontas para consumo — vêm ganhando destaque no mercado global, apresentando crescimento expressivo impulsionado por fatores como conveniência, diversidade de sabores e preferência por produtos com menor teor alcoólico (GRAND VIEW RESEARCH, 2023). Segundo relatórios recentes como o da MORDOR INTELLIGENCE (2025), o mercado mundial de RTD deve alcançar cerca de USD 478 bilhões até 2030, refletindo uma tendência de modernização e adaptação da indústria de bebidas às novas demandas de consumo.

O presente estudo se justifica pela observação da baixa popularidade do hidromel no cenário brasileiro e pela oportunidade de associar sua produção tradicional às tendências de mercado das bebidas Ready-to-Drink. A investigação de alternativas que visem reduzir o teor alcoólico do hidromel (geralmente próximo de 10 % v/v) e conferir-lhe características compatíveis com os RTD. Além disso, a mudança de hábitos de consumo das novas gerações, marcada por escolhas mais conscientes e pelo interesse em produtos de menor teor alcoólico, reforça a relevância dessa adaptação (GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

A utilização do maracujá (*Passiflora edulis*) como aditivo e fonte suplementar de nutrientes no mosto representa uma estratégia promissora para enriquecer o perfil sensorial e melhorar o desempenho fermentativo do bebidas alcoólicas. O fruto, rico em compostos aromáticos e em nitrogênio assimilável, pode contribuir para a formação de aromas agradáveis e equilibrar a acidez da bebida, resultando em produtos com maior aceitação sensorial (SANTOS et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2020).

Paralelamente, o emprego de ferramentas quimiométricas e de planejamento experimental permite não apenas a análise multivariada dos parâmetros físico-químicos, mas também a otimização das condições de produção. Por exemplo, Gomes et al. (2013) demonstrou como a metodologia de superfície de resposta (RSM) pode ser usada para ajustar temperatura e nutrientes em produção de hidromel visando desempenho ótimo. Schwarz (2020) de modo similar, utilizou um delineamento experimental para avaliar os efeitos de nitrogênio, minerais e vitaminas sobre variáveis como taxa de fermentação, açúcar residual e etanol em hidromel. Estes métodos possibilitam a modelagem de respostas, identificação de interações entre fatores e determinação de condições operacionais ideais, contribuindo diretamente para a padronização e controle de qualidade do produto final.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL:

O presente trabalho tem como objetivo produzir um hidromel similar às bebidas *Ready-to-Drink*, desenvolvendo uma formulação com teor alcoólico reduzido e adição de maracujá, aproveitando as propriedades organolépticas da fruta para agregar complexidade ao produto. Utilizando análises estatísticas multivariadas que permitam definir condições ótimas de produção e caracterizar o hidromel obtido com base na legislação brasileira vigente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Produzir hidroméis com diferentes quantidades de adição de extrato de polpa de maracujá azedo.
- Caracterizar os hidroméis produzidos de acordo com os parâmetros de acidez, teor de açúcares, teor alcoólico e perfil de acidez volátil.
- Utilizar análises estatísticas multivariadas para a compreensão das condições ótimas de fermentação do hidromel com a finalidade de aproximá-lo aos Ready-To-Drink.

3. REFERENCIAIS TEÓRICOS

3.1 HIDROMEL

Conforme o Decreto nº 6.871/2009 (BRASIL, 2009) "Hidromel é a bebida com graduação alcoólica de quatro a quatorze por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida pela fermentação alcoólica de solução de mel de abelha, sais nutrientes e água potável.". A Instrução Normativa nº 34/2012 (BRASIL, 2012) estabelece ainda os padrões de identidade e qualidade para o Hidromel (Tabela 1).

Tabela 6: Padrões de identidade e qualidade para o Hidromel.

Parâmetro	Limite Mínimo	Limite Máximo	Classificação
Acidez fixa, em meq/L.	30		---
Acidez total, em meq/L.	50	130	---
Acidez volátil, em meq/L.	---	20	---
Anidrido sulfuroso total, em g/L.	---	0,35	---
Cinzas, em g/L.	1,5		---
Cloretos totais, em g/L.	---	0,5	---
Extrato seco reduzido, em g/L.	7		---
Graduação alcoólica, em % v/v a 20°C.	4	14	---
Teor de açúcar em g/L.	---	3*	---

Fonte: Normativa nº 34/2012 (BRASIL, 2012). *Valor posteriormente ajustado pela norma.

Já a definição etimológica do hidromel se origina no latim *hydromeli*, junção dos termos *meli* (mel) e *Hydro* (água), segundo Figueiredo (1913, verbete 'hidromel'). A concepção social e histórica do Hidromel, no entanto, não se limita somente a esses dois ingredientes basais, livros como "*The Compleat Meadmaker – Ken Schramm*" e produções acadêmicas como "*15th Century English Mead: Initial Review of Hydromel, Metheglin, and Melomel Recipes*" – Laura D. Angotti" demonstram como a produção do hidromel envolve incontáveis combinações entre vários ingredientes como ervas, frutas, flores, grãos, extratos, além de infindáveis proporções entre todos estes ingredientes, bem como a ampla diversidade de condições e técnicas de produção utilizadas ao longo dos milênios.

Embora a legislação brasileira não contemple a adição de frutas ou outros ingredientes ao Hidromel, existe outro tipo de classificação que permite a produção do fermentado de forma

mais aproximada ao seu contexto histórico e sua variedade mundial. Essa classificação está descrita no Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. (BRASIL, 2009) como “bebida alcoólica mista”, sendo descrita como a bebida que contém ingredientes básicos (parte alcoólica e não alcoólica), podendo incluir ingredientes opcionais como xarope, mel, frutas, gás carbônico e água potável (usada apenas para ajustar o teor alcoólico). Se for gaseificada, o teor alcoólico não pode ultrapassar 15% em volume a 20 °C. Portanto, a produção de bebidas alcoólicas mistas tipo hidromel pode ser amplamente explorada.

3.2 INGREDIENTES

Os principais ingredientes para a produção do hidromel são comuns a todas as receitas e variedades, portanto suas descrições se fazem necessárias para a compreensão do trabalho. Abaixo estão os ingredientes basais.

3.2.1 Água

É o principal constituinte em volume da bebida, servindo como solvente para o mel e deve atender aos padrões de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), que estabelece os requisitos de qualidade para a água destinada ao consumo humano no Brasil. A presença de cloro, metais ou microrganismos pode interferir na fermentação e prejudicar o sabor do hidromel (WALKER et al., 2006; UBUKATA, 2024).

3.2.2 Mel

Segundo a Instrução Normativa nº 11/2000 (BRASIL, 2000) “entende-se por mel o produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores ou das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas, que as abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam madurar nos favos da colmeia.”. O mel fornece os açúcares necessários para a fermentação alcoólica responsável por converter o mosto (solução de água, mel e leveduras) em hidromel, gerando nesse processo o etanol e subprodutos como o CO₂ e ácidos diversos (GUPTA; SHARMA, 2009). O mel também contribui com as demais substâncias que descreverão todo o perfil sensorial da bebida. Méis de diferentes origens tem composições químicas bastante variadas, o que influencia diretamente em seus sabores, aromas e cores, e consecutivamente nos derivados

apícolas (CAMARGO et al., 2006).

3.2.3 Leveduras

As leveduras são microrganismos unicelulares. A maioria das leveduras pertence à ordem Saccharomycetales. Há várias espécies conhecidas de leveduras, sendo a *Saccharomyces cerevisiae* a variedade mais utilizada para a produção de hidromel, principalmente pela sua elevada tolerância ao etanol (RAMALHOSA, 2011). Esses microrganismos têm capacidade enzimática e conseguem metabolizar substâncias químicas mais complexas, como açúcares, e transformá-las em uma variedade de outras moléculas, como etanol e compostos aromáticos (BORZANI, 2001). As leveduras possuem características distintas, como a tolerância ao álcool e a capacidade fermentativa, de modo que a escolha de diferentes cepas influencia nas características finais do produto (PIRRONE et al., 2025). A Imagem 1 exemplifica o mecanismo básico de fermentação alcoólica viabilizado pelas leveduras.

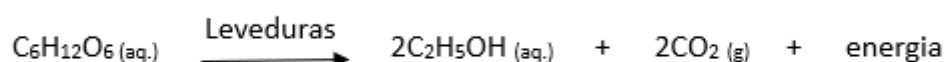


Imagem 1: Fermentação alcoólica.

Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Aditivos

Embora rico em açúcares fermentáveis, o mel é pobre em outros nutrientes essenciais para a fermentação, principalmente nitrogênio assimilável, essencial para o metabolismo das leveduras (GUPTA; SHARMA, 2009). A ausência desse nutriente pode gerar compostos residuais indesejáveis, como ácido acético e álcoois superiores, que alteram as características físico-químicas e sensoriais da bebida (PEREIRA, 2019). Por este motivo, é comum o uso de diferentes tipos de suplementos que visam aumentar os teores de nitrogênio, sais minerais e vitaminas do mosto (SIMÃO et al., 2021). Dentre os suplementos se encontram as frutas, capazes de melhorar as condições fermentativas e agregar características sensoriais (AMORIM et al., 2018).

3.2.5 Processo de produção

O processo de produção do hidromel segue algumas etapas, que embora não sejam normatizadas, são essenciais para a obtenção do produto.

A esterilização é considerada o primeiro passo para as boas práticas de fabricação para qualquer bebida e inclui o controle sanitário dos equipamentos e insumos (ANVISA, 2002). Nesse sentido, órgãos regulatórios como a ANVISA (RDC nº 275, 2002) e especialistas em microbiologia como Schmidt (2012) descrevem o processo em duas etapas fundamentais: a limpeza e a sanitização. A limpeza foca na remoção de resíduos macroscópicos com o uso de detergentes. A sanitização, etapa subsequente, visa reduzir a carga microbiana a níveis seguros, utilizando agentes químicos, como os compostos clorados ou métodos físicos, como o calor.

A segunda etapa, a mosturação, é o processo de diluição do mel em água a fim de produzir a mistura a ser fermentada, ajustando-se o teor de açúcar desejável. Nesta etapa podem ser adicionados outros ingredientes, como frutas e nutrientes, à bebida, além do ajuste de pH para melhores desempenhos fermentativos (SCHRAMM, 2003).

O mosto segue para a etapa de pasteurização, que é o aquecimento controlado da solução (cerca de 65 °C por 10 minutos) a fim de eliminar microrganismos nativos do mel (e dos aditivos) que podem interferir de formas diversas na ação do fermento e gerar compostos indesejados (RAMALHOSA et al., 2011; MENDES-FERREIRA et al., 2010).

Após o preparo do mosto ocorre a inoculação das leveduras, que consiste na introdução controlada de microrganismos em um meio específico para iniciar processos biológicos, como a fermentação alcoólica (MADIGAN et al., 2018).

As leveduras inoculadas são adicionadas no mosto para promover a fermentação alcoólica, que é o processo de conversão de açúcares fermentáveis em etanol e gás carbônico como subprodutos. A fermentação é viabilizada pelas leveduras que utilizam os açúcares como fonte de energia (BORZANI et al., 2001). O processo fermentativo cessa naturalmente ao atingir a graduação alcoólica máxima suportada pelas leveduras, ou ao se esgotar os nutrientes do mosto, ou ainda com a adição de estabilizadores químicos e redução da temperatura (BORZANI et al., 2001). Esse controle térmico pode auxiliar na próxima etapa, nomeada como clarificação (RAMALHOSA et al., 2011). O resfriamento facilita a decantação dos sólidos suspensos. Agentes aglutinantes podem ser adicionados nessa fase com a

intenção de acelerar o processo de clarificação (PASCOAL et al., 2017; MA et al., 2020). O hidromel deve ser trasfegado a outro recipiente para a completa separação da biomassa decantada.

Por fim, o hidromel fermentado e clarificado pode ser posteriormente submetido a um tempo de descanso (dias, meses ou anos) com a finalidade de se desenvolver características sensoriais desejáveis e únicas. Essa etapa é conhecida como a maturação do hidromel (BAN et al., 2025).

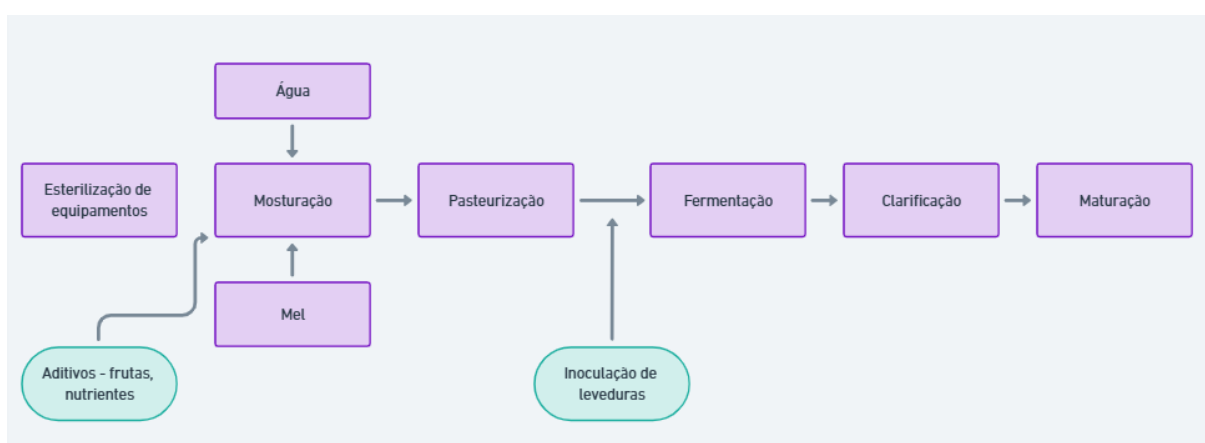


Imagem 2: Esquema de produção de hidromel.

Fonte: Autoria própria

3.3 READY-TO-DRINK

Em contraste com a definição e produção milenar do Hidromel, outros tipos de bebida que tem demonstrado importante e crescente impacto social e econômico são os *Ready-to-Drink (RTD)*, de acordo com o relatório da Grand View Research (2023). Essas bebidas, geralmente enlatadas, são coquetéis prontos para beber, de teor alcoólico reduzido (geralmente entre 4% a 8% v/v), e misturas de ingredientes favoráveis a complexidade de sabores e aromas (GRAND VIEW RESEARCH, 2023). Para se ter uma ideia mais precisa do crescimento desse mercado no Brasil, entre 2020 e 2022 a venda de RTD aumentou 60% (ABRASEL, 2025). Já segundo um relatório mercadológico disponibilizado pela Mordor Intelligence (2025), o mercado de RTD alcançará a marca USD 478 B até 2030.

Os novos hábitos de consumo da geração Z, aliado há um apelo crescente pelo estilo

de vida mais saudável impulsionam a redução do teor alcoólico das bebidas (ABRASEL, 2025). O formato de distribuição desses drinks (geralmente feito em latas de alumínio ou garrafas *long neck*) também é responsável pela redução do consumo de álcool, sendo seus volumes acertados para o consumo de doses individuais. Paralelo a isso, a praticidade de consumo e transporte desses RTD e a maior possibilidade de sabores alavancam esse mercado (OLIVEIRA, 2022) (GALINA, 2022).

A forma mais convencional para se enquadrar os RTD na legislação brasileira é como bebida alcoólica mista ou coquetel, que de acordo com o Decreto nº 6.871/2009 (BRASIL, 2009) é definido como “a bebida alcoólica por mistura com graduação alcoólica entre 0,5% a 54%, em v/v, a 20 °C”. O decreto estabelece que esse tipo de bebida pode conter a) álcool etílico potável de origem agrícola; b) destilado alcoólico simples de origem agrícola; c) bebida alcoólica; ou d) mistura de um ou mais produtos desses produtos, adicionado(a): a) de bebida não alcoólica; b) de suco de fruta; c) de fruta macerada; d) de xarope de fruta; entre outros. Portanto, tanto os RTDs quanto o hidromel estão amplamente amparados nessa definição.

Nesse contexto, utilizando-se do potencial comercial dos RTD e da tradição milenar do Hidromel, surge a possibilidade da união dos dois produtos com a finalidade de expansão mercadológica do derivado apícola. Alterações no processo produtivo podem ser propostas e testadas para adequar os parâmetros físico-químicos e sensoriais do Hidromel às características dos RTD.

3.3. MARACUJÁ

Dentre as principais características dos RTDs, o sabor frutado é um dos traços mais comumente encontrados. Uma fruta com potencial para integrar esse tipo de bebida é o maracujá, denominação geral dada ao fruto e à planta de várias espécies do gênero *Passiflora*. Esse fruto, geralmente arredondado, de casca amarelada e interior contendo polpa gelatinosa incrustada de sementes, é rico em nutrientes e substâncias bioativas (SANTOS et al., 2022). Embora diferentes partes da fruta tenham uso comercial, a polpa é a parte mais utilizada. O uso alimentício inclui a confecção de sucos, néctares, produtos lácteos, bolos, doces, geleias e bebidas alcoólicas, sendo amplamente utilizado na culinária gourmet (EMBRAPA FRUTICULTURA, 2025).

Flora Tsapovsky em sua coluna no blog Eater, importante site nova iorquino de gastronomia, descreve o maracujá como a “estrela dos menus”, enfatizando o quanto, mundialmente, os bares e restaurantes apostam na fruta latino-americana como carro chefe da culinária para o ano de 2025. Segundo Carlos Altamirano, um renomado chef americano, “Se você nunca teve contato com a polpa amarelo-vivo da fruta, aqui está uma boa maneira de descrevê-la: tem gosto de escapismo” (TSAPOVSKY, 2025).

Além das referências populares e autoridades gastronômicas, o sucesso do maracujá pode ser endossado de forma robusta por dados mercadológicos especializados, como é o caso do relatório “Global Passion Fruit Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2032”, produzido pela Data Bridge Market Research. Neste relatório Pawan Gusain afirma que o crescimento anual do mercado de maracujá deve se estabelecer em 5,20% até 2032, fortemente impulsionado pelo setor de alimentos e bebidas, justificado pela preferência das novas gerações por alimentos naturais, com sabor característico e benefícios nutricionais amplos. A pesquisa aponta o Brasil como maior produtor mundial de maracujá (DATA BRIDGE MARKET RESEARCH, 2025).

A produção brasileira de maracujá é de aproximadamente 700 mil toneladas/ano, algo em torno de 70% de toda a produção mundial. A maior parte dessa produção é direcionada ao consumo interno, de modo que o Brasil ocupa o posto de maior produtor e maior consumidor mundial desta fruta. O cultivo do maracujá é responsável por 500 mil empregos diretos e indiretos, sendo fonte de sustento e renda para diversas famílias agricultoras no país, fortalecendo a importância social e econômica da fruta no contexto brasileiro (EMBRAPA FRUTICULTURA, 2025).

As fortes tendências gastronômicas e mercadológicas do maracujá podem também ser explicadas pelas características nutricionais da fruta. Rico em vitaminas e sais minerais, a polpa é considerada um alimento saudável e seu uso como aditivo para produção de bebidas alcoólicas torna-se foco de investigação (SANTOS et al., 2022).

A adição de nutrientes como o potássio, presente em altas concentrações no maracujá, pode afetar significativamente a qualidade final de hidroméis, alterando positivamente taxas de fermentação e perfis voláteis e sensoriais (SIMÃO et al., 2021). Dessa forma, o uso do maracujá na formulação de hidroméis representa não apenas uma escolha técnica promissora, mas também uma estratégia alinhada às tendências de mercado, às

características de RTDs e à valorização da fruta tropical brasileira. A tabela 2 traz mais informações sobre o maracujá.

Tabela 2: Dados físico químicos e nutricionais do maracujá.

Parâmetro	Média	Parâmetro	Média
			(mg/100 g)
Sólidos Solúveis (°Brix)	13,57	K (Potássio)	298,7
Acidez Titulável em Ácido Cítrico (%)	2,92	N (Nitrogênio)	189,69
pH	3,43	S (Enxofre)	49,94
Rácio	4,65	P (Fósforo)	44,14
Umidade (%)	80	Mg (Magnésio)	14,62
Cinzas (%)	0,68	Ca (Cálcio)	8,1
Proteínas (%)	0,95	Al (Alumínio)	1,12
Fibras (%)	1,5	Fe (Ferro)	1,04
Gordura total (%)	0,48	Na (Sódio)	0,87
Carboidratos (%)	16,39	Zn (Zinco)	0,33
Calorias (kcal/100 g)	86,8	Mn (Manganês)	0,28
Vitamina C (mg/100 g)	41,48	Cu (Cobre)	0,21
		B (Boro)	0,07

Fonte: Libindo, et al. (2016). Adaptado pelo autor.

4 PARTE EXPERIMENTAL

4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A faixa de teor alcoólica foi definida segundo os valores do relatório “RTDs in Brazil | Market Research Report” da Euromonitor International (2025), que após uma análise robusta afirma que os teores alcoólicos dos RTDs no Brasil estão entre 5% e 10% v/v. Para este trabalho, a faixa escolhida foi ligeiramente menor que o limite de 10% v/v.

A partir da determinação da faixa de teor alcoólico desejada, o cálculo para a definição da quantidade de mel nas receitas é feito considerando-se o teor de açúcar inicial do mosto, medido em °Brix e o teor final de etanol provável (JACKSON, 2008), conforme a equação 1. A tabela 3 apresenta os valores calculados para os experimentos.

$$\text{Teor alcoólico esperado} \left(\% \frac{v}{v} \right) = {}^{\circ}\text{Brix} \times 0,52 \quad \text{Equação 1}$$

Tabela 1: Teor alcoólico esperado de acordo com o °Brix.

°Brix	Teor alcoólico esperado (% v/v)
10	5,20
12	6,24
14	7,28

Fonte: Autoria própria.

A quantidade de extrato de polpa de maracujá a ser adicionada tem como referência valores comuns encontrados na literatura para a adição de polpa de frutas. Savić et al. (2021) analisaram como a adição de suco de amora influencia a fermentação e a qualidade do hidromel utilizando concentrações de 5%, 10% e 20% v/v de suco em relação ao mosto. Já Amorim et al. (2018) estudaram a influência de diferentes concentrações de polpa de acerola na produção de hidromel, utilizando concentrações de 10%, 15%, 25% e 30% v/v de polpa. Por sua vez Jesus et al. (2022) utilizaram concentrações de 1%, 2,5% e 5% v/v de suco de jenipapo como aditivo na fermentação de hidromel. Schramm (2003) no livro *The Compleat Meadmaker* afirma que diferentes quantidades de frutas podem ser adicionadas ao hidromel, sendo necessário equilíbrio entre o sabor do mel e das frutas. Por isso o autor sugere que

hidroméis com teores alcoólicos mais baixos devem conter quantidades menores de polpa em relação aos hidroméis com teores alcoólicos médios ou maiores.

Tendo em vista as características do maracujá, como o baixo rácio (relação entre sólidos solúveis e acidez total) que indica um sabor azedo e considerando que a quantidade de mel utilizada será relativamente pequena (para se garantir o baixo teor alcoólico), as quantidades de extrato de polpa de fruta escolhidas para as receitas serão 5%, 10% e 15% v/v em relação ao mosto. Com essas adições espera-se encontrar um equilíbrio entre as características sensoriais e físico-químicas do produto.

Os experimentos serão realizados considerando-se um planeamento fatorial 2^2 para posterior tratamento estatístico. A adição de um ponto central garantirá maior confiabilidade aos resultados e permitirá um delineamento melhor dos efeitos das variáveis °Brix e Polpa e de suas interações. A fermentação de hidroméis controles, sem a adição de maracujá, permitirá se estudar os efeitos isolados da adição de fruta ao mosto. A tabela 4 traz a matriz x experimental evidenciando os níveis adotados para os experimentos.

Tabela 2: Planeamento fatorial 2^2 com ponto central para a produção dos hidroméis.

Experimento	Matriz x		
	°Brix	Polpa	Interação
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	+1	+1	+1
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

Fonte: Autoria própria.

A tabela 5 traz os valores numéricos de °Brix, % v/v de polpa de maracujá e volume adicionado de extrato de polpa para cada experimento. Como complemento, a Tabela 6 mostra a produção dos hidroméis controles, sem a adição do extrato de polpa do maracujá.

Tabela 3: Proporções entre °Brix e polpa de maracujá para cada hidromel.

Experimento		°Brix	Polpa (%v/v)	Volume polpa (mL)
1	H10P5	10	5	25
2	H14P5	14	5	25
3	H10P15	10	15	75
4	H14P15	14	15	75
5	H12P10'	12	10	50
6	H12P10''	12	10	50
7	H12P10'''	12	10	50

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4. Produção dos hidroméis controle

Experimento		°Brix	Polpa (%v/v)
8	C10	10	0
9	C12	12	0
10	C14	14	0

Para facilitar a leitura do texto, os hidroméis foram codificados de acordo com a seguinte tratativa: “H” se refere a hidromel seguido pelo valor °Brix e “P” se refere a polpa, seguido pela % v/v. Os apóstrofes indicam o número da replicata no ponto central. Por exemplo, o experimento 3 tem °Brix 10 e polpa 15% v/v, portanto é o hidromel H10P15. O experimento 6 é o hidromel H12P10’’. “C” se refere a controle, seguido do valor de brix. O experimento 9 é o hidromel controle C12.

4.2 PRODUÇÃO DO HIDROMEL

4.2.1 INGREDIENTES, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

A confecção dos hidroméis seguiu várias das etapas gerais de produção descritas no item 3.1.2. Todas essas etapas foram realizadas na seção de pesquisa da UFMG, especificamente no Labeer, laboratório de análise e produção de bebidas.

A primeira etapa foi a sanitização de todos os equipamentos a serem utilizados na produção com solução aquosa de hipoclorito de sódio 0,02% v/v por 15 minutos .

Após a sanitização o extrato da polpa de maracujá azedo foi produzido com o auxílio

de liquidificador. A polpa de frutos foi triturada e posteriormente coada com auxílio de peneira fina. O volume apropriado de extrato de polpa de maracujá foi adicionado em cada frasco de fermentação, conforme a receita indicada na tabela 5. As leveduras foram reidratadas conforme indicações do rótulo, utilizando água morna e deixando-as em repouso por 15 minutos antes da adição ao mosto.

A mosturação foi feita com a adição de mel multifloral adquirido em um mercado local sobre a água filtrada até se obter uma solução com cerca de 8 °brix. A cada frasco contendo maracujá uma parte dessa solução foi adicionada e o °brix foi cuidadosamente ajustado utilizando-se mel e água até completar cerca de 500mL. Um refratômetro digital Milwaukee modelo MA871 foi utilizado para a aferição do °brix. Adicionalmente as leveduras foram transferidas a cada frasco e homogeneizou-se o mosto.

Por fim, um sistema *airlock* foi improvisado para permitir o escape dos gases da fermentação. Os hidroméis, identificados de 1 a 10, foram levados para uma sala climatizada a 23 °C e fermentados até que a densidade atingisse valores constantes por 72 horas.

Ao término da fermentação cada hidromel foi armazenado em geladeira a 6 °C, até que todos os hidroméis estivessem fermentados. Após o último hidromel ser refrigerado, trasfegas foram realizadas para se separar o excesso de material decantado. Uma etapa adicional de centrifugação fora realizada com o auxílio de uma centrífuga KASVI modelo K14-0815p a 5000 rpm, por 5 minutos. Essa etapa garantiu um hidromel clarificado, sem a necessidade de agentes de clarificação. Uma vez terminada essa etapa, os hidroméis seguiram para as caracterizações físico-químicas.

Os ingredientes usados na produção do hidromel foram adquiridos na cidade de Belo Horizonte – MG. Os materiais utilizados e os insumos estão citados abaixo na tabela 7. A água potável foi obtida de um filtro (marca Aguagel modelo BB30L/2, CLASSE A). O mel utilizado foi adquirido comercialmente na cidade de Belo Horizonte – MG, da marca Santa Bárbara (SIF/DIPOA N° 0003/4067) e tem como característica florada silvestre. O maracujá utilizado é da qualidade azedo e fora comprado em um supermercado regional. Já a levedura utilizada pertence a marca RED STAR, da variedade Premier Blanc e foi adquirida em uma loja de insumos cervejeiros. Seguindo as instruções do rótulo, 125 mg foram suficientes para a fermentação de cada hidromel. As imagens de 3 a 5 trazem mais detalhes sobre os procedimentos e equipamentos utilizados.

Tabela 5. Materiais e insumos para a produção de hidromel.

Materiais	Insumos
Frascos alimentícios plásticos de 500mL	Água potável
Airlock artesanal (válvula de fermentação)	Mel
Densímetro	Levedura
Provetas de 100mL	Extrato de maracujá
Balança analítica	
Termômetro	
Refrigerador	
Beckeres e erlenmeyers	
Espátulas e colheres de aço inox	
Funil	
Mangueira de silicone	
Fita adesiva	
Peneira fina	

Fonte: Autoria própria.



Imagem 3. Sistema airlock artesanal

Fonte: Autoria própria.



Imagem 4. Levedura utilizada.

Fonte: Autoria própria.



Imagem 5. Hidroméis prontos para início da fermentação

Fonte: Autoria própria.

4.2.2 ACOMPANHAMENTO DA FERMENTAÇÃO

A fermentação dos hidroméis fora acompanhada por densimetria com o auxílio de um densímetro Anton Paar modelo EasyDens . Um volume de 3 mL dos hidroméis foi retirado diariamente. Os tempos de verificação foram escolhidos de modo a garantir a comparação entre os diferentes níveis dos experimentos e os controles. Inicialmente as medições foram feitas a cada 72h e verificou-se acentuada diminuição da densidade do mosto. Próximo ao final da fermentação dos hidroméis com adição de extrato de polpa a frequência de verificação passou a ser realizada a cada 24h, garantindo maior precisão para checagem dos efeitos das variáveis. As fermentações foram consideradas finalizadas quando o valor da densidade não se alterou por 72h consecutivas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO HIDROMEL

4.3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO

O teor alcoólico foi medido utilizando-se um cromatógrafo gasoso SHIMADZU modelo GC-17A equipado com um detector de ionização de chama (FID) e uma coluna Supelcowax (30 m × 0,53 mm × 2µm). O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio em um fluxo de 2,2 cm³.min⁻¹. O método aplicado foi validado internamente pelo grupo de pesquisa (LOPES, 2024). As amostras foram preparadas em triplicata utilizando-se 100 µL de hidromel e 900 µL de padrão interno pentanol 0,1%. A injeção foi feita com 0,2 µL de amostra, utilizando

split de 1:17. A corrida iniciou-se com a coluna a 120 °C, elevando-se a temperatura até 200 °C a uma taxa de aquecimento de 20 °C por minuto. Após atingir essa condição, manteve-se por 3 min, resultando em um tempo total de corrida de 7 min. O pico relativo ao tempo de retenção do etanol foi observado em cerca de 55 segundos. Uma curva de calibração de verificação foi preparada, seguindo os mesmos procedimentos dos hidroméis, com concentrações de 3%, 6% e 9% v/v de etanol para posterior interpolação dos resultados.

4.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AÇÚCARES

4.3.2.1 AÇÚCARES TOTAIS

O teor de açúcares totais foi estimado utilizando-se um refratômetro milwaukee modelo MA871. O método consiste na leitura direta do hidromel sobre o prisma do equipamento devidamente calibrado com água. A correção da temperatura fora realizada para maior exatidão dos resultados. Embora o resultado obtido neste método seja uma estimativa dada a matriz complexa do hidromel, Silva et al. (2003) realizaram uma análise comparativa de diferentes métodos utilizados de quantificação de açúcares totais e concluíram que a estimativa por refratometria não difere estatisticamente de métodos mais robustos. A conversão entre o valor de °Brix e açúcares totais foi feita seguido a relação da equação 2.

$$Açúcares\ totais\ (g/L) = \frac{°Brix \times 1000}{100} \quad \text{Equação 2}$$

4.3.2.2 AÇÚCARES REDUTORES

A determinação de açúcares redutores foi realizada seguindo o protocolo de método DNS para quantificação de açúcares redutores da EMBRAPA (VASCONCELOS et al., 2013). O protocolo determina que alíquotas de volumes conveniente devem ser transferidas para um tubo de ensaio. Os volumes dessas alíquotas foram definidos com base em estudos prévios do Labeer.

Preparou-se uma solução diluída em 25 vezes de cada hidromel. A seguir, em um tubo falcon, 1 mL da amostra diluída e 1 mL de reagente 3,5- dinitrosalicílico (DNS) são diluídos em 2 mL de água. Essa solução é então aquecida em banho maria fervente por 10 minutos. A solução tem seu volume completado até 10 mL e é resfriada para posterior leitura de

resultados.

O reagente DNS é preparado sonicando-se 32,046 gramas de tartarato duplo de sódio e potássio tetrahidratado, 1,000 grama de ácido 3,5- dinitrosalicílico e 1,6 gramas de hidróxido de sódio em cerca de 80 mL de água destilada até completa dissolução. O volume dessa mistura deve ser então ajustado para 100mL em balão volumétrico calibrado.

Uma curva de calibração de frutose (o principal açúcar redutor do mel) fora preparada utilizando-se concentrações de 0,1%, 0,5% e 1% de frutose em água destilada. As soluções da curva foram submetidas aos mesmos procedimentos das amostras e seus dados foram coletados para posterior interpolação dos resultados.

Todas as amostras foram lidas em duplicata em um espectrofotômetro UV-Vis marca Agilent modelo Cary 60. O comprimento de onda utilizado foi 540 nm. O equipamento foi ajustado utilizando-se soluções branco apropriadas.

A imagem 6 mostra a reação que ocorre durante a quantificação dos açúcares redutores pelo método DNS.

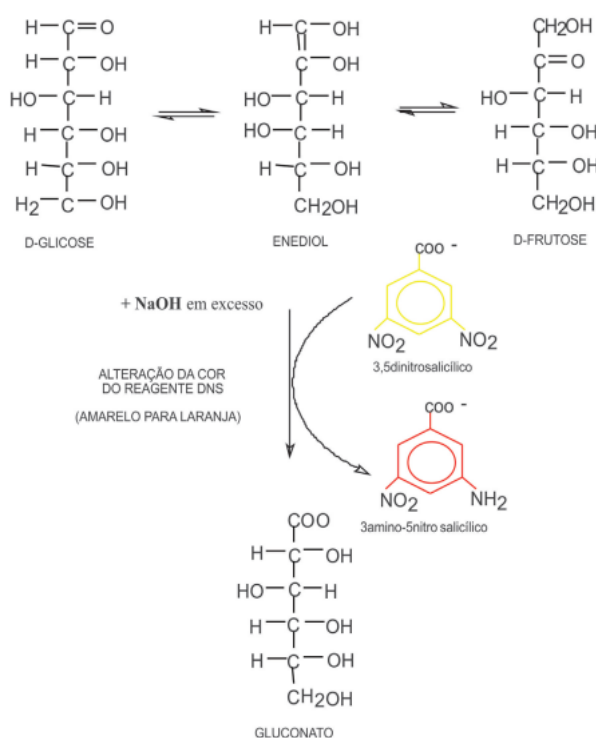


Imagem 6. Esquema das reações envolvidas no método DNS para quantificação de açúcares redutores

Fonte: (MALDONADE, 2013, p. 1).

4.3.2.3 AÇÚCARES NÃO REDUTORES

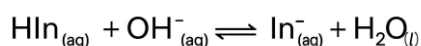
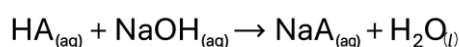
A concentração dos açúcares não redutores foi estimada pela diferença entre os valores de açúcares totais e açúcares redutores, conforme a equação 3.

$$\text{Açúcares não redutores} = \text{Açúcares totais} - \text{Açúcares redutores} \quad \text{Equação 3}$$

4.3.3 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ

4.3.3.1 ACIDEZ TOTAL

A acidez total foi determinada conforme procedimento do Instituto Adolfo Lutz (2008, p. 449) para bebidas fermentadas. O procedimento de volumetria ácido-base consiste na diluição, em Erlenmeyer, de 5 mL de hidromel em 20 mL de água destilada e posterior titulação com solução de hidróxido de sódio de aproximadamente 0,1 mol/L padronizada, em presença de fenolftaleína até viragem de cor para rosa claro persistente. A reação química de neutralização ácido-base é apresentada na Imagem 7. O cálculo para a concentração de acidez é realizado segundo a equação 4.



Incolor (Ácido) Rosa/Fúcsia (Base)

Imagem 7. Esquema das reações envolvidas no método volumetria ácido-base.

Fonte: Autoria própria. Uso de recurso de inteligência artificial.

$$\text{Acidez total (mEq/L)} = V_{(\text{NaOH})} * f_{\text{C}(\text{NaOH})} * C_{(\text{NaOH})} * 1000 / V_{(\text{amostra})} \quad \text{Equação 4}$$

Onde,

$V_{(\text{NaOH})}$ = Volume de NaOH 0,1 mol/L gasto durante a titulação.

$C_{(\text{NaOH})}$ = Concentração da solução de NaOH padronizada.

$f_{\text{C}(\text{NaOH})}$ = fator de correção da solução padronizada de NaOH.

$V_{(\text{amostra})}$ = Volume de amostra utilizado na titulação.

A quantificação da acidez total foi realizada em triplicata.

4.3.3.2 ACIDEZ FIXA

O método para quantificação de acidez fixa segue a mesma estrutura do método para quantificação de acidez total, diferindo-se na etapa inicial, onde 5 mL da amostra devem ser evaporados em chapa de aquecimento. O resíduo seco deve ser ressuspenso com os mesmos 20 mL de água e então titulado com o hidróxido de sódio 0,1 mol/L padronizado em presença de fenolftaleína até viragem de cor para rosa claro persistente. O cálculo segue a equação 4. Para este ensaio foram realizadas triplicatas das amostras.

4.3.3.3 ACIDEZ VOLÁTIL

A acidez volátil é estimada a partir do cálculo da diferença entre a acidez total e acidez fixa, conforme equação 5.

$$\text{Acidez volátil} = \text{acidez total} - \text{Acidez fixa} \quad \text{Equação 5}$$

4.3.4 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS

Os compostos voláteis foram determinados utilizando-se um cromatógrafo gasoso SHIMADZU modelo GC-17A equipado com um detector de ionização de chama (FID) e uma coluna Supelcowax (30 m × 0,53 mm × 2µm). O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio em um fluxo de 2,2 cm³.min⁻¹. O método aplicado foi validado internamente pelo grupo de pesquisa (LOPES, 2024). As amostras foram preparadas em triplicata utilizando-se 80 µL de hidromel e 20 µL da solução de padrão interno de pentanol 0,1% (v/v). A injeção foi feita com 0,2 µL de amostra, utilizando split de 1:17.

O programa de temperatura iniciou-se a 60 °C (7 min), seguido de aquecimento a 110 °C (15 °C·min⁻¹, 5 min), depois a 200 °C (5 °C·min⁻¹, 5 min), totalizando 38,3 min de corrida. Um post-run até 60 °C (20 °C·min⁻¹) é realizado, por fim. A tabela 7 sintetiza a programação para o método.

Tabela 7. Programação do método de análise de compostos voláteis em CG-FID.

Rampa (°C/min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
-	60	7
15	110	5
5	200	5
20	60	-

Fonte: LOPES, 2024.

As substâncias identificadas por esse método estão listadas na Tabela 9. Já a imagem 8 representa um cromatograma típico para o método.

Tabela 8. Ordem de eluição dos compostos voláteis analisados por CG-FID.

Pico	Composto	Pico	Composto
1	Acetaldeído	7	3-Metil-1-Butanol
2	Acetato de etila	8	Pentanol (Padrão Interno)
3	Metanol	9	Ácido Acético
4	1-Propanol	10	Furfural
5	2-Butanol	11	2-Feniletanol
6	2-Metil-1-Propanol		

Fonte: LOPES, 2024.

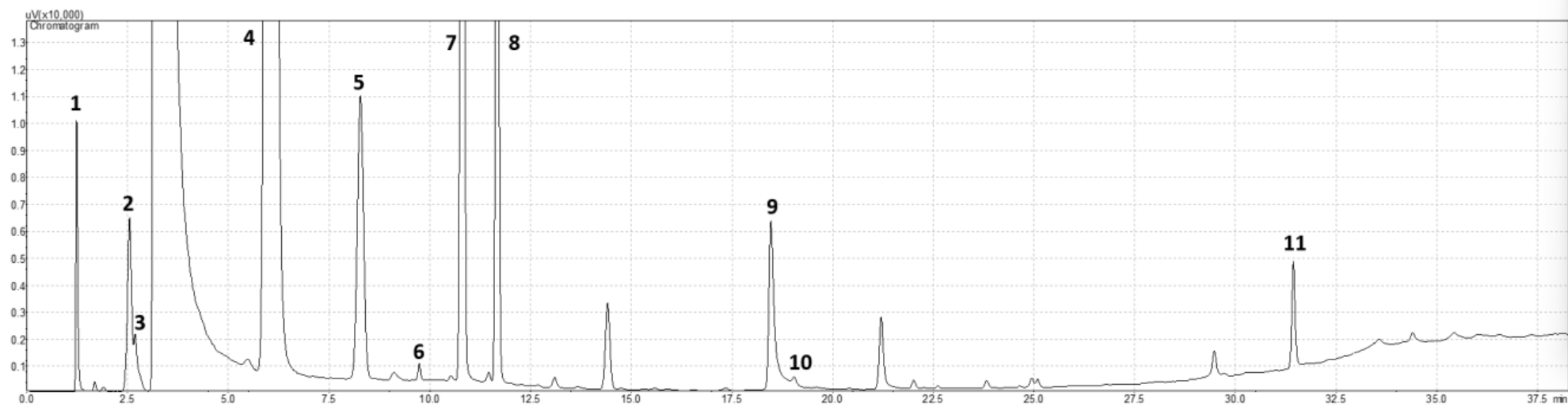


Imagem 8. Cromatograma típico da análise de compostos voláteis em CG-FID.
Fonte: LOPES, 2024.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram conduzidas com base em um planejamento experimental do tipo fatorial 2^2 com ponto central, avaliando os efeitos das variáveis °Brix e teor de extrato de polpa de maracujá sobre as respostas físico-químicas dos hidroméis. Todos os modelos foram ajustados considerando um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), sendo interpretados com base nos valores de p e na análise de variância (ANOVA). O software utilizado para tratamento dos dados foi o Google Colab, valendo-se da linguagem python de programação. Os resultados de açúcares totais, açúcares não redutores e compostos voláteis não foram considerados no DOE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ACOMPANHAMENTO DA FERMENTAÇÃO

O acompanhamento da fermentação teve como objetivo avaliar o desempenho das leveduras nas diferentes formulações e identificar o efeito da adição de polpa de maracujá e da variação de °Brix sobre a duração e a eficiência do processo. A Imagem 9 demonstra o gráfico de acompanhamento das densidades longo do tempo para as fermentações.

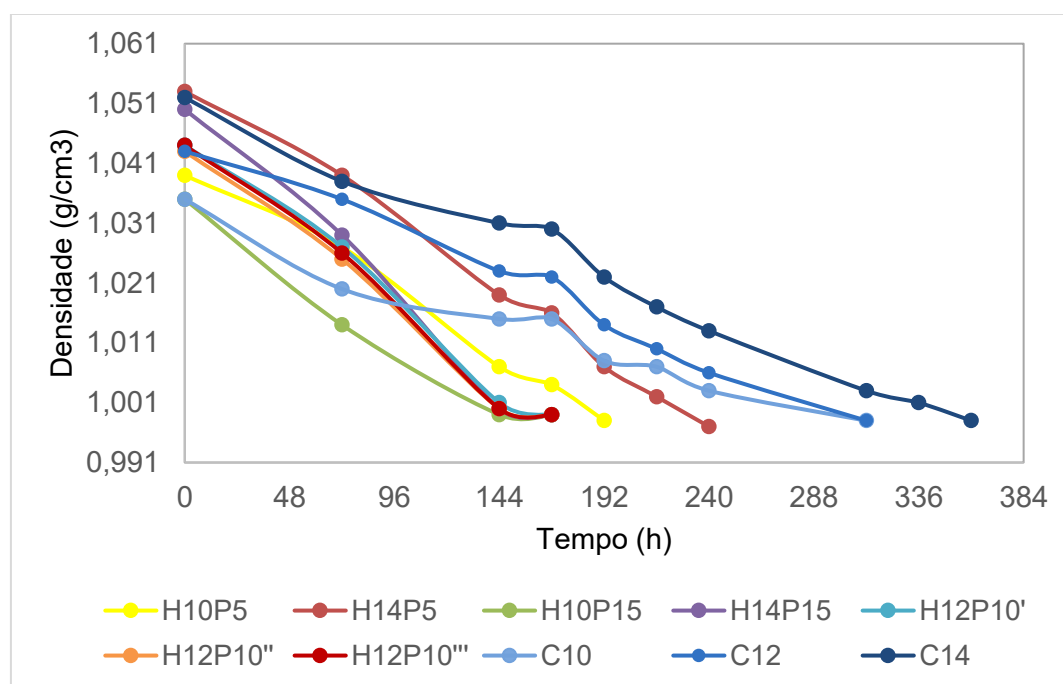


Imagem 9. Acompanhamento da fermentação dos hidroméis via densidade

Fonte: Autoria própria

O tempo de fermentação variou de 168 a 360 horas entre os ensaios realizados no planejamento de experimentos, com adição de extrato de polpa de maracujá e os hidroméis controles (sem adição da polpa), evidenciando diferenças expressivas entre as fermentações. As amostras contendo polpa de maracujá (experimentos de 1 a 7) tiveram um tempo de fermentação menor, com término entre 168 e 240 horas, enquanto os hidroméis controle (8 a 10), produzidos apenas com mel e água, demandaram 312 a 360 horas para atingir estabilidade. Esse comportamento confirma que a presença de polpa acelerou o processo fermentativo, provavelmente devido ao fornecimento de nutrientes essenciais para as leveduras, como nitrogênio assimilável, vitaminas e minerais, naturalmente presentes na fruta. Esses compostos são conhecidos por estimular a multiplicação celular e reduzir o tempo de latência em mostos de mel, que normalmente são pobres em nitrogênio e micronutrientes (PEREIRA et al., 2015)

Em seu trabalho utilizando a adição de polpa de acerola na produção de hidromel, os autores Amorin et al, 2018 observaram que a adição de concentrações crescentes de polpa de acerola promoveu o crescimento celular, com a maior concentração celular atingida sendo de aproximadamente $2,09 \times 10^8$ células/mL, levando à uma taxa de fermentação mais acelerada.

A densidade final das amostras ficou próxima de $0,999 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ em todos os experimentos, indicando fermentações completas, com conversão praticamente total dos açúcares fermentescíveis. O fato de as amostras frutadas alcançarem essa densidade em menor tempo demonstra que a adição de maracujá promoveu um ambiente mais favorável ao metabolismo da *Saccharomyces cerevisiae*, sem comprometer a atenuação aparente. Já nos hidroméis controle, a fermentação mais prolongada sugere que as leveduras precisaram de mais tempo para se adaptar à escassez nutricional do meio, fenômeno amplamente relatado na literatura sobre hidroméis sem suplementação (MENDES-FERREIRA et al., 2010)

Do ponto de vista tecnológico, a redução significativa no tempo de fermentação nas formulações com polpa representa uma vantagem operacional importante, pois permite ciclos de produção mais curtos. Além disso, a completa atenuação dos açúcares demonstra que, mesmo com a adição de compostos da fruta, não houve inibição do metabolismo fermentativo, reforçando a estabilidade do processo (VITORINO-JUNIOR et al., 2024). De forma geral, os

resultados indicam que a adição de polpa de maracujá atuou de maneira semelhante à de um suplemento nutricional industrial, otimizando o tempo de fermentação.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

5.2.1 TEOR ALCOÓLICO

O teor alcoólico é um dos principais parâmetros de qualidade e identidade em bebidas fermentadas, influenciando diretamente características sensoriais, estabilidade microbológica e enquadramento legal do produto (RIBÉREAU-GAYON, 2006). Assim, compreender a influência dos parâmetros de formulação sobre essa variável auxilia no direcionamento da produção de hidroméis tipo *ready-to-drink* (RTD) conformes à legislação.

A tabela 10 traz os valores dos teores alcoólicos dos experimentos.

Tabela 10. Teor alcoólico dos hidroméis.

Hidromel	Teor alcoólico % (v/v)
H10P5	5,65 ± 0,12
H14P5	7,45 ± 0,11
H10P15	5,24 ± 0,15
H14P15	6,78 ± 0,36
H12P10'	6,26 ± 0,28
H12P10''	6,08 ± 0,20
H12P10'''	6,22 ± 0,26
C10	5,06 ± 0,20
C12	5,93 ± 0,31
C14	6,51 ± 0,46

Fonte: Autoria própria

O planejamento experimental 2² com ponto central avaliou os efeitos da concentração de polpa de maracujá (5% a 15% v/v) e do °Brix inicial (10 a 14) sobre o teor alcoólico final. Após tratamento dos dados, o modelo ajustado apresentou bom ajuste e baixo erro residual (R^2 ajustado = 0,979), sendo adequado para descrever a variação observada. A análise de variância indicou que tanto a polpa quanto o °Brix influenciaram significativamente o teor alcoólico ($p = 0,014$ e $0,001$, respectivamente), enquanto a interação entre os fatores não foi

significativa ($p = 0,302$).

O fator polpa apresentou efeito linear negativo, com coeficiente de regressão de codificado de -0,2700. Em termos naturais, isso representa -0,054 % v/v de álcool por 1% de polpa, implicando que o aumento da proporção de maracujá promoveu diminuição do teor alcoólico dentro dos experimentos fatoriais. Embora a polpa de maracujá possa suprir parcialmente a deficiência de nutrientes característica do mel, o que contribui para maior eficiência fermentativa e conversão de açúcares em etanol, outros fatores podem explicar a aparente contradição.

Uma hipótese para este fenômeno é a diluição de açúcares fermentescíveis. O °brix mede sólidos solúveis *totais*, não distinguindo açúcares fermentescíveis (glicose, frutose) de não fermentescíveis (fibras solúveis, pentoses) ou de fermentação mais lenta (sacarose) (SANTOS et al., 2021). Assim, ao se atingir o °brix desejado na presença de polpa, pode-se estar diluindo a concentração relativa dos açúcares mais eficientemente para a conversão em etanol.

A Imagem 10 traz os teores alcoólicos dos experimentos considerando todos os ensaios.

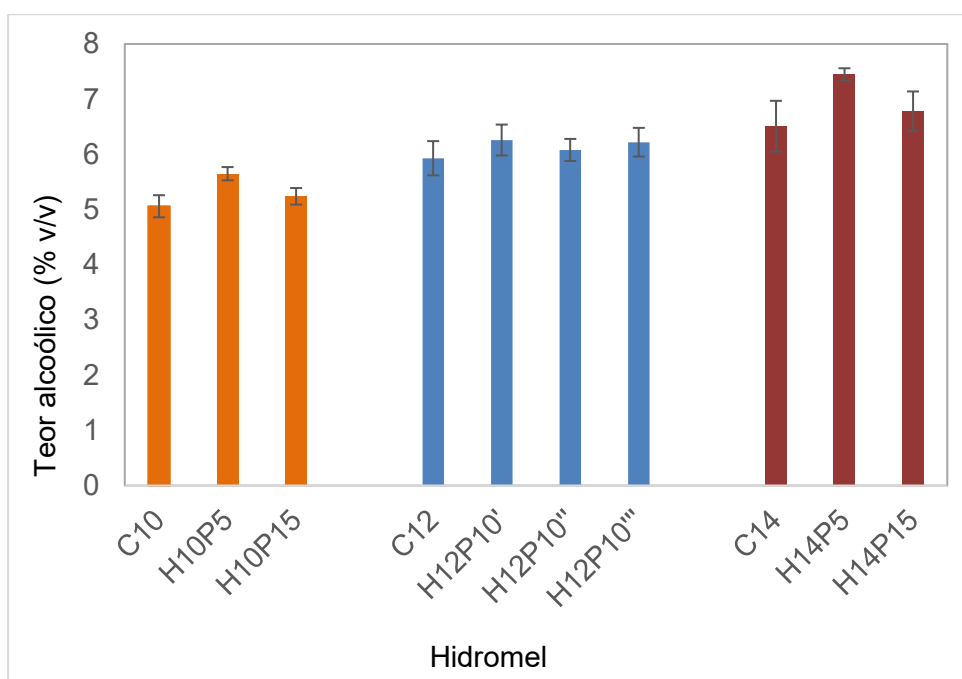


Imagem 10. Comparativo dos teores alcoólicos entre os hidroméis frutados e seus controles.

Fonte: Autoria própria.

A adição de polpa de maracujá implica em teores alcoólicos maiores se comparado aos seus respectivos controles. Esse fenômeno está em conformidade com a literatura e prova que mesmo pequenas adições de frutas servem como suplemento para o mosto, aumentando a eficiência da fermentação em relação a hidroméis não suplementados. Jesus et al. (2022) relata que a adição de 1% v/v de suco de jenipapo é o suficiente para aumentar o teor alcoólico de hidroméis em comparação com seus controles. Amorim (2018) encontrou resultados semelhantes trabalhando com polpa de acerola. No entanto, os dados desse estudo mostram que a relação não é linear e deve ser aplicada com cautela, pois dentro da faixa do experimento fatorial o fator polpa teve estatístico impacto negativo sobre o teor alcoólico. Futuros experimentos na faixa de adição de 0 a 5% v/v de polpa podem trazer dados interessantes sobre a ordem da relação.

Em contraste, o fator °Brix inicial apresentou efeito linear positivo significativo, com coeficiente de regressão codificado de 0,8350. Em termos naturais, isso representa 0,4175 % v/v de álcool por 1 °Brix, implicando que o aumento da proporção de mel promoveu aumento do teor alcoólico, resultado esperado conforme a relação química apresentada na Imagem 1. A mesma tendência se observa nos hidroméis controle. A equação 1 prediz que o fator multiplicativo seria 0,52. A relação entre os dois valores é próxima, mas indica que o rendimento da reação foi de 80,29%.

Comparando-se os valores dos efeitos o °Brix é o fator dominante no controle do teor alcoólico dentro da faixa estudada. Essa relação é evidenciada no diagrama de contorno (Imagem 11) no qual o teor alcoólico cresce linearmente com o aumento do °Brix e decresce com a polpa. As regiões de maior teor alcoólico (>7%) concentram-se em condições de maior °Brix (14) e menor polpa (5 % v/v), enquanto os menores valores (<5,5%) são observados na condição inversa, de máxima polpa e mínimo °Brix.

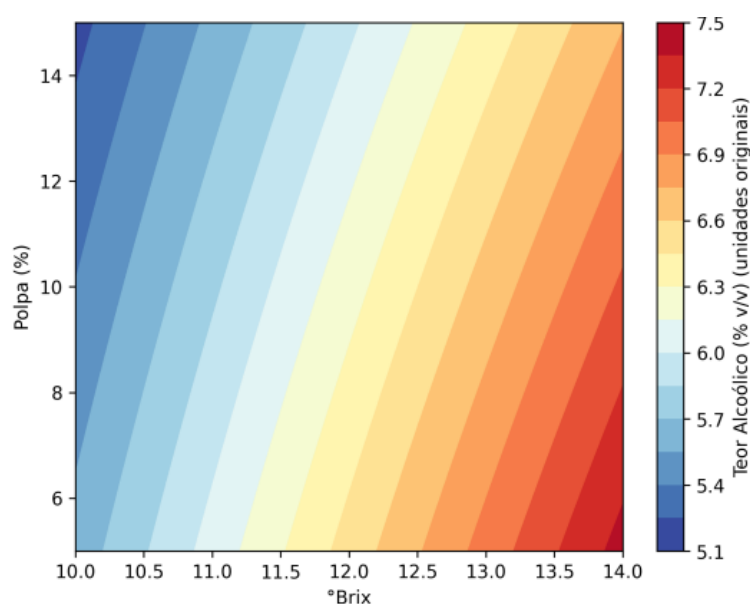


Imagem 11. Diagrama de contorno do teor alcoólico % v/v

Fonte: Autoria própria.

Os teores alcoólicos obtidos experimentalmente situaram-se entre 5,5 e 7,5% (v/v), faixa ideal para bebidas *ready-to-drink* (Euromonitor International, 2025), que visam leveza e equilíbrio entre álcool e dulçor residual. Além de atender às exigências legais de 0,5 a 54% v/v para bebidas alcoólicas mistas, conforme o Decreto nº 6.871/2009 (BRASIL, 2009) e 4 a 14% v/v para hidromel, segundo a Instrução Normativa nº 34/2012 (BRASIL, 2012), esses valores indicam bom rendimento fermentativo. Assim, a otimização do teor alcoólico em hidroméis RTD deve considerar o balanço entre o substrato açucarado e a acidez da fruta, visando maximizar a fermentação sem comprometer o desempenho das leveduras, o perfil sensorial e a estabilidade do produto final.

5.2.2 TEORES DE AÇÚCARES

O perfil de açúcares de um hidromel é um dos principais indicadores de seu comportamento fermentativo, rendimento alcoólico e características sensoriais. Os açúcares atuam como substrato para as leveduras, determinando tanto a taxa de fermentação quanto o teor residual de doçura e corpo no produto final (BORZANI, 2001). A análise conjunta dos açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR) permite compreender o balanço entre o consumo de carboidratos fermentescíveis e a permanência de açúcares

residuais, que afetam diretamente a classificação e a qualidade sensorial da bebida (JACKSON, 2008). A Tabela 11 traz os dados obtidos nas quantificações dos açúcares. A imagem 12 é uma comparação entre os dados.

Tabela 11. Teores de açúcares dos hidroméis

Amostra	Açúcares totais (g/L)	Açúcares redutores (g/L)	Açúcares não redutores (g/L)
H10P5	34 ± 0,2	31,96 ± 0,36	2,04 ± 0,41
H14P5	49 ± 0,2	43,42 ± 4,39	5,58 ± 4,39
H10P15	34 ± 0,2	21,18 ± 3,83	12,82 ± 3,84
H14P15	46 ± 0,2	42,56 ± 1,49	3,44 ± 1,50
H12P10'	43 ± 0,2	29,48 ± 3,06	13,52 ± 3,07
H12P10''	42 ± 0,2	28,02 ± 3,18	13,98 ± 3,19
H12P10'''	41 ± 0,2	32,18 ± 1,01	8,82 ± 1,03
C10	34 ± 0,2	33,64 ± 3,14	0,36 ± 3,14
C12	37 ± 0,2	36,37 ± 1,05	0,63 ± 1,07
C14	39 ± 0,2	38,43 ± 4,11	0,57 ± 4,11

Fonte: Autoria própria

As incertezas dos AT estão expressas em termos da incerteza do equipamento de medição. As incertezas dos ANR foram propagadas a partir das incertezas das duas grandezas que o compõe.

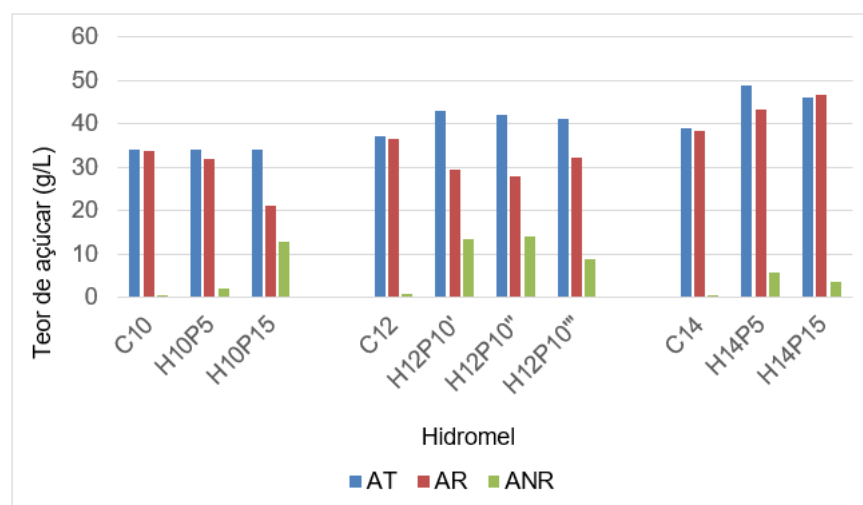


Imagem 12: : Comparativo entre os valores de açúcares dos hidroméis

Fonte: Autoria própria

5.2.2.1 Açúcares totais e legislação aplicável

Os valores de açúcares totais obtidos variaram entre 34 e 49 g/L. variando conforme os níveis do experimento. De acordo com a Instrução Normativa nº 34/2012 do MAPA, hidroméis

com teor de totais inferiores a 3 g/L são classificados como secos, e acima de 3 g/L como suaves. Assim, todos os hidroméis produzidos neste trabalho se enquadram na classificação de suaves, o que é compatível com o objetivo de desenvolver uma bebida *ready-to-drink* de perfil leve e equilibrado.

O teor mais elevado de açúcares totais foi observado nos tratamentos com maior °Brix (14) e com adição de polpa de maracujá, especialmente H14P5 e H14P15, que alcançaram valores próximos de 49 e 46 g/L. Esse resultado reflete tanto a maior concentração inicial de açúcares simples proveniente do mel quanto a contribuição de carboidratos próprios da fruta. O maracujá é conhecido por conter sacarose, glicose e frutose em proporções equilibradas, além de pectinas e outros polissacarídeos solúveis (SANTOS et al., 2021) e assim como discutido na seção de teor alcoólico, isso influencia as características finais do fermentado. Esses compostos aumentam o extrato seco e explicam o acréscimo observado nos açúcares totais das amostras frutadas.

Nos hidroméis controle (C10 a C14), elaborados apenas com mel e água, o aumento do °Brix inicial resultou em um leve crescimento do teor de açúcares totais (de 34 a 39 g/L), comportamento esperado pela maior concentração de substrato disponível. No entanto, os valores permaneceram iguais ou abaixo dos valores das amostras com polpa, reforçando que a adição da fruta atuou como fonte suplementar de açúcares e sólidos não fermentáveis, como mostra a Imagem 12.

5.2.2.2 Açúcares redutores

Os açúcares redutores (frutose e glicose), são os principais substratos utilizados pela *Saccharomyces cerevisiae* durante a fermentação alcoólica (RIBOREAU-GAYON et al., 2006). Em mostos de mel e de maracujá, a frutose é geralmente o carboidrato mais abundante, seguida pela glicose, considerando-se que esse é o açúcar mais presente nos dois produtos. Embora a levedura possua preferência metabólica pela glicose, ambos os monossacarídeos são convertidos via glicólise produzindo etanol e CO₂ sob condições anaeróbias (RIBOREAU-GAYON et al., 2006). A maior proporção de frutose no mosto pode levar a consumo mais lento nas fases finais da fermentação, resultando em pequena fração residual e influenciando o dulçor do hidromel final (RIBOREAU-GAYON et al., 2006).

Nos resultados obtidos, os valores de AR situam-se entre 33,6 e 38,4 g/L nos controles

e atingiram até 43,4 g/L nas amostras frutadas. o fator °Brix inicial apresentou efeito linear positivo significativo ($p = 0,027$), com coeficiente de regressão de codificado de 8,2100. Em termos naturais, isso representa 4,10 g/L de AR por 1 °Brix, implicando que o aumento da proporção de mel promoveu aumento dos açúcares redutores residuais dos hidromeis. A mesma tendência se observa nos hidroméis controle. O fator polpa e a interação °Brix/Polpa não apresentaram efeitos significativo ($p = 0,249$ e $p = 0,311$), indicando que dentro da faixa estudada apenas a variação de mel influencia nos AR. Vale ressaltar que o modelo ajustado apresentou $R^2 = 0,736$ e erro padrão = 4,08, valores que são considerados apenas moderados (HAIR et al., 2010, p. 748). A imagem 13 traz o mapa de contorno do teor de AR.

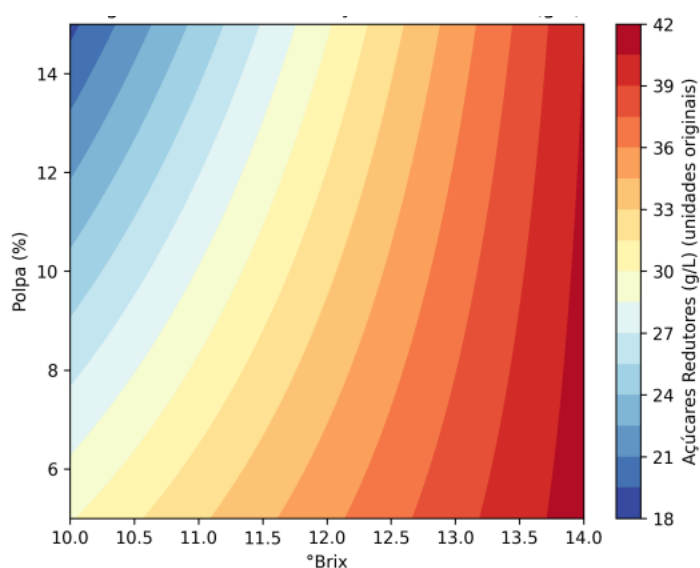


Imagem 13. Diagrama de contorno do teor de açúcares redutores (g/L)

Fonte: Autoria própria

5.2.2.3 Açúcares não redutores

Os ANR correspondem à fração de carboidratos que não participam da fermentação diretamente, incluindo sacarose não hidrolisada, oligossacarídeos e polissacarídeos derivados do mel e da polpa. Em sistemas fermentativos, parte desses compostos pode ser convertida lentamente ou permanecer inalterada, contribuindo para o corpo e a viscosidade do produto (RIBOREAU-GAYON et al., 2006).

Nos hidroméis analisados, os ANR variaram de 2,04 a 13,98 g/L nas amostras com polpa, enquanto os controles apresentaram valores muito baixos de 0,36 a 0,63 g/L, estando

inclusive dentro da faixa da incerteza, o que gera a possibilidade de os ANR estarem ausentes nos controles. Esses resultados confirmam a contribuição estrutural da fruta, que adiciona açúcares complexos e pectinas parcialmente não fermentáveis. A presença desses compostos pode conferir suavidade à bebida, além de atuar como agente de corpo (PAISSONI et al., 2023).

A adição de polpa de maracujá não apenas aumentou o teor de açúcares não redutores, como também pode ter introduzido compostos que regulam o metabolismo fermentativo da levedura, resultando em produtos finais com tempo de fermentação menor e maior acidez. Essa hipótese está de acordo com os resultados discutidos na seção de teor alcoólico.

5.2.3 ACIDEZ

Juntamente com o teor alcoólico e os teores de açúcar, o teor de acidez é o terceiro pilar que define o equilíbrio químico de um hidromel, trazendo características sensoriais importantes para a bebida (RIBOREAU-GAYON et al., 2006). A acidez de uma bebida fermentada não é gerada por uma fração única, mas sim pela soma de diferentes frações denominadas de acidez total (AT), acidez fixa (AF) e a acidez volátil (AV) (RIBOREAU-GAYON et al., 2006). Compreender como os fatores de formulação (°Brix e Polpa) impactam cada uma dessas frações individualmente é importante para determinar a origem dessa acidez, se é originada da fruta ou se é um subproduto da fermentação. A Tabela 12 apresenta os resultados de acidez obtidos para todos os ensaios.

Tabela 12. Acidez dos hidroméis

Hidromel	Acidez total (mEq/L)	Acidez fixa (mEq/L)	Acidez volátil (mEq/L)
H10P5	39,79 ± 0,57	35,51 ± 0,99	4,27 ± 0,57
H14P5	51,3 ± 0,99	44,72 ± 1,14	6,58 ± 2,05
H10P15	75,63 ± 0,57	72,01 ± 0,99	3,62 ± 1,51
H14P15	80,56 ± 0,57	74,97 ± 0,00	5,59 ± 0,57
H12P10'	66,42 ± 1,51	58,86 ± 0,57	7,56 ± 1,14
H12P10"	65,11 ± 0,99	60,18 ± 0,99	4,93 ± 0,99
H12P10'''	66,75 ± 0,57	56,23 ± 1,71	10,52 ± 2,05
C10	51,3 ± 0,99	19,4 ± 1,51	31,9 ± 1,51
C12	52,28 ± 0,99	20,72 ± 0,99	31,57 ± 0,99
C14	53,27 ± 1,71	25,32 ± 1,14	27,95 ± 0,57

Fonte: Autoria própria.

5.2.3.1 Acidez Total

A acidez total é um parâmetro sensorial e de estabilidade fundamental em bebidas fermentadas. Ela atua como o principal contraponto ao dulçor proveniente dos açúcares residuais, conferindo frescor e realçando o perfil de sabor da fruta. Além disso, influencia o pH do meio, um fator crítico para a estabilidade microbiológica e físico-química do produto final (JACKSON, 2008).

A legislação brasileira para hidromel, através da Instrução Normativa nº 34/2012 do MAPA (BRASIL, 2012), estabelece um limite máximo de 130 mEq/L para a acidez total. Os valores obtidos em todos os hidroméis deste estudo (máximo 81 mEq/L) situam-se confortavelmente dentro deste limite legal. No entanto, o limite inferior de 50 mEq/L não foi alcançado pelo HP10P5, ao passo que todos os hidroméis controles se mantiveram muito próximos do limite, indicando que a nem todas as formulações propostas atingiram os valores exigidos sob a ótica regulatória. O planejamento fatorial tem como função demonstrar justamente quais formulações trazem os efeitos desejados.

A análise do modelo estatístico para a AT revelou um excelente ajuste, com R^2 ajustado = 0,944. Este valor, considerado substancial (HAIR et al., 2014), confirma que o modelo explica 94,4% da variação da acidez e é altamente confiável.

O fator polpa apresentou efeito linear positivo ($p = 0,0022$), com coeficiente de regressão de codificado de 16,2750. Em termos naturais, isso representa 3,25 mEq/L de acidez total por 1% de polpa adicionada, implicando que o aumento da proporção de maracujá promoveu aumento da acidez total dentro da faixa dos experimentos fatoriais.

O °brix inicial ($p = 0,0888$) e a interação entre os °brix e polpa ($p = 0,3931$) não apresentaram efeitos estatísticos reais.

Este resultado é quimicamente esperado. O aumento da AT não é um subproduto da fermentação, mas sim um resultado direto da formulação. O maracujá é conhecido por sua acidez elevada, composta primariamente por ácido cítrico e ácido málico (Libindo, et al. 2016). Ao adicionar a polpa, o mosto é diretamente acidificado, o que explica a dominância absoluta deste fator.

O Diagrama de Contorno (Imagem 14) ilustra esse fenômeno de forma clara. As linhas de acidez são quase perfeitamente horizontais, demonstrando que a AT é drasticamente influenciada pela mudança no eixo Y (polpa) e quase totalmente independente do eixo X

(°Brix). O fato do °Brix não influenciar estatisticamente a AT sugere que a contribuição de ácidos secundários da fermentação (como o succínico) foi desprezível diante da elevada carga ácida primária fornecida pela fruta.

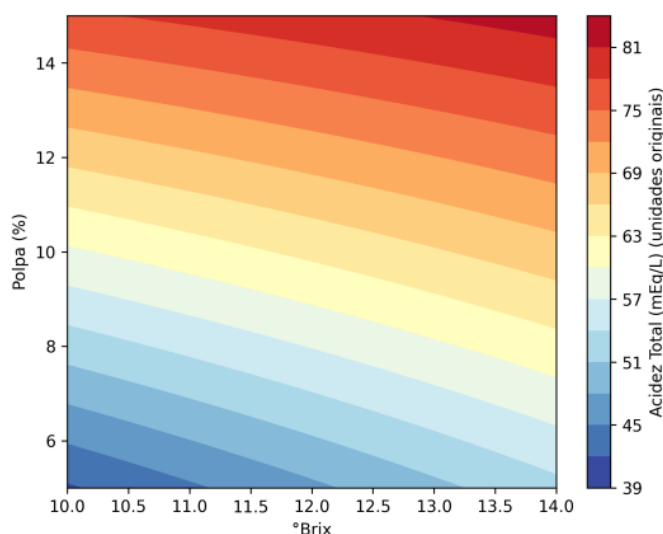


Imagem 14. Diagrama de contorno da acidez total (mEq/L)

Fonte: Autoria própria.

5.2.3.2 Acidez fixa

A acidez fixa representa a estrutura sensorial ácida de uma bebida, sendo composta pelos ácidos orgânicos não-voláteis (como o cítrico, málico, tartárico e succínico). É a principal responsável pela percepção de frescor e "ataque" no paladar (JACKSON, 2008).

A legislação brasileira estabelece um limite mínimo para a acidez fixa do hidromel (30 mEq/L) (BRASIL, 2012).

A análise do modelo estatístico para a AF revelou um excelente ajuste, com R^2 ajustado = 0,979. Este valor também é considerado substancial.

O fator polpa apresentou efeito linear positivo ($p = 0,0005$) altamente significativo, com coeficiente de regressão de codificado de 16,6875. Em termos naturais, isso representa 3,34 mEq/L de acidez fixa por 1% de polpa adicionada., implicando que o aumento da proporção de maracujá promoveu aumento da acidez fixa dentro da faixa dos experimentos fatoriais.

O °Brix inicial ($p = 0,0591$) e a interação entre os °Brix e polpa ($p = 0,2246$) não apresentaram efeitos estatísticos significativos.

O Diagrama de Contorno da AF (Imagem 15) é um extremamente similar ao da AT.

Isso ocorre porque a acidez fixa é o componente majoritário da acidez total. O resultado confirma que a acidez dos hidroméis é quase inteiramente devida aos ácidos fixos provenientes do maracujá, e não de subprodutos da fermentação.

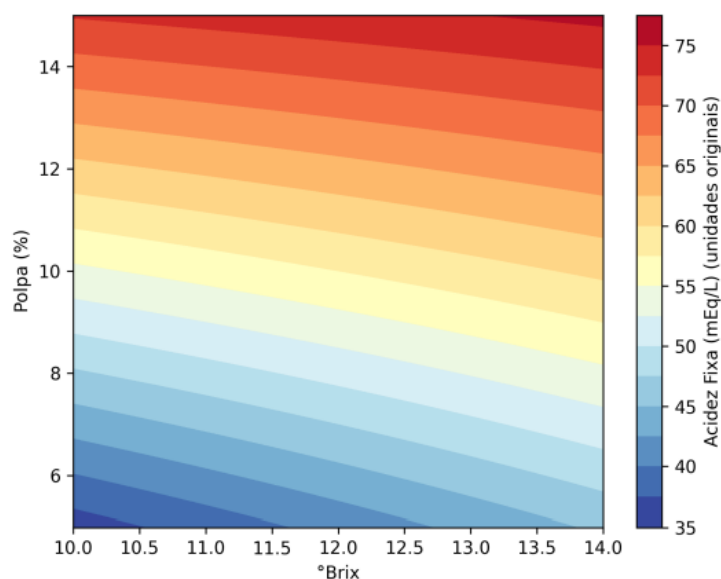


Imagem 15. Diagrama de contorno da acidez total (mEq/L)

Fonte: Autoria própria.

5.2.3.3 Acidez volátil

A acidez volátil difere fundamentalmente das acidez total e fixa, pois, ela não é, em sua maioria, originária do mosto inicial, mas sim um subproduto direto do metabolismo microbiano de leveduras e, quando muito elevada, pode ser um resultado de bactérias acéticas contaminantes. Composta primariamente por ácido acético e traços de outros ácidos de cadeia curta, a AV é um indicador crítico da "saúde" da fermentação (JACKSON, 2008). Em baixas concentrações, pode contribuir para a complexidade aromática, em excesso, é o principal defeito sensorial de vinhos e hidroméis, conferindo odor avinagrado (SWIEGERS, 2005).

A acidez volátil serve como um indicador químico da produção de compostos voláteis aromáticos, incluindo ésteres e álcoois superiores, que serão explorados em detalhe na seção de Compostos Voláteis deste trabalho (SWIEGERS, 2005).

A legislação brasileira estabelece um limite máximo de 20 mEq/L para a acidez volátil no hidromel. Os valores observados em todos os ensaios situaram-se na faixa de 4,6 a 7,8

mEq/L, permanecendo muito abaixo do limite legal. Este é um resultado positivo, indicando fermentações sem estresse excessivo da levedura ou contaminações.

A análise do modelo estatístico para a AV demonstra que o modelo é estatisticamente inválido, como comprovado pelo R^2 Ajustado negativo = -0,680. Conforme discutido (HAIR et al., 2014), um R^2 ajustado negativo indica que o modelo é pior para prever os dados do que simplesmente usar a média geral, ou seja, ele não possui poder preditivo algum.

A causa dessa invalidade do modelo é confirmada pelos valores de p, cujo nenhum dos fatores testados apresentou significância estatística. Nem o °brix ($p = 0,532$), nem a polpa ($p = 0,805$), nem a interação polpa °brix ($p = 0,959$) tiveram qualquer efeito real sobre a produção de acidez volátil.

Este resultado novamente afirma o fato de que a produção de acidez volátil no processo de fermentação, não é diretamente correlacionada com a formulação (°Brix ou polpa). A variação observada (de 4,6 a 7,8 mEq/L) é apenas uma produção natural do processo fermentativo pelas leveduras. A relevância aqui é que, independentemente da receita, a fermentação manteve-se com níveis baixos e consistentes de acidez volátil, dentro dos experimentos fatoriais.

No entanto, ao comparar os hidroméis frutados com os hidroméis controles observa-se um importante benefício da adição de maracujá ao mosto: Todos os hidroméis controles estão acima do limite máximo de AV estabelecidos pela legislação, indicando que sem a contribuição nutritiva do maracujá, a produção de hidroméis pode gerar elevadas concentrações de ácido acético caso o mosto não possua uma adição de nutrientes comerciais. O gráfico 4 mostra as relações de acidez nos hidroméis.

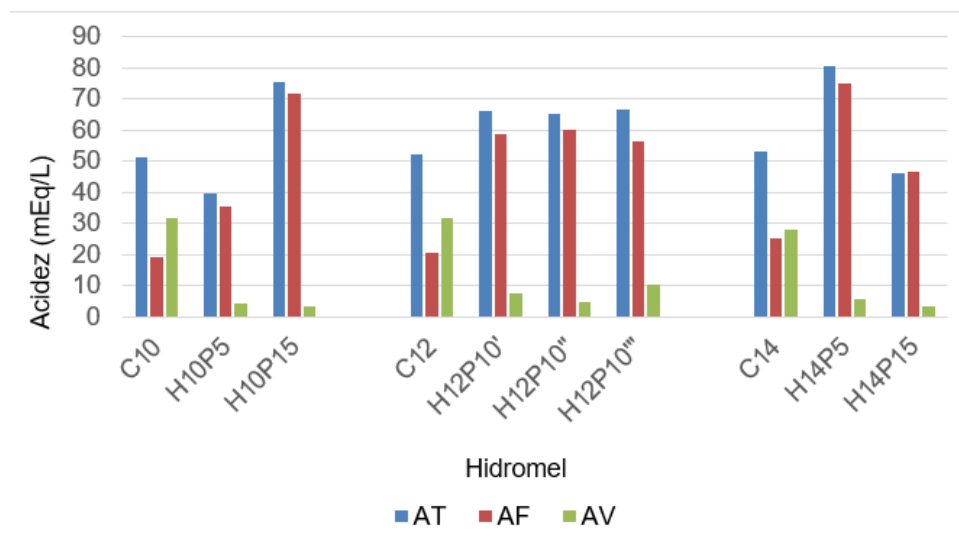


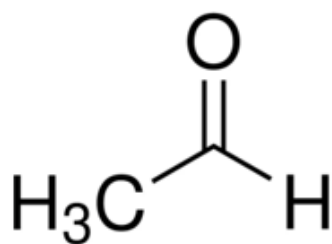
Imagem 16: Comparativo entre os valores de acidez dos hidroméis

Fonte: Autoria própria.

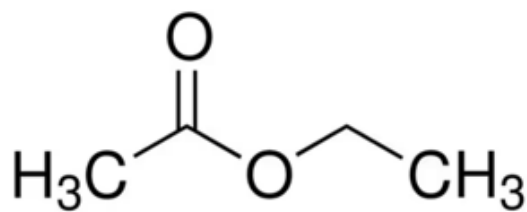
5.2.4 COMPOSTOS VOLÁTEIS

A análise do perfil de compostos voláteis é uma ferramenta fundamental para a caracterização de bebidas fermentadas, pois estes compostos são os principais responsáveis pela identidade sensorial (aroma) e pela qualidade química do produto final (SWIEGERS, 2005).

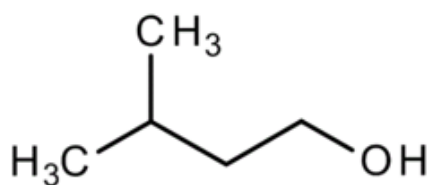
O método cromatográfico permitiu a identificação semiquantitativa dos principais compostos voláteis formados durante a fermentação. Embora o método utilizado possa monitorar vários compostos, os experimentos realizados demonstraram que o perfil aromático dos hidroméis foi predominantemente definido por cinco compostos: Acetaldeído, acetato de etila, 3-metil-1-butanol (álcool isoamílico) e ácido acético. A Imagem 17 traz as estruturas químicas dos compostos identificados. Já a imagem 18 mostra um cromatograma real obtido nos experimentos.



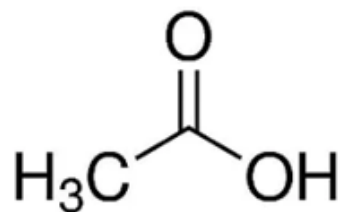
Acetaldeído



Acetato de etila



3-metil-1-butanol



Ácido acético

Imagem 17. Estruturas químicas dos compostos voláteis identificados

Fonte: Autoria própria via uso de inteligência artificial.

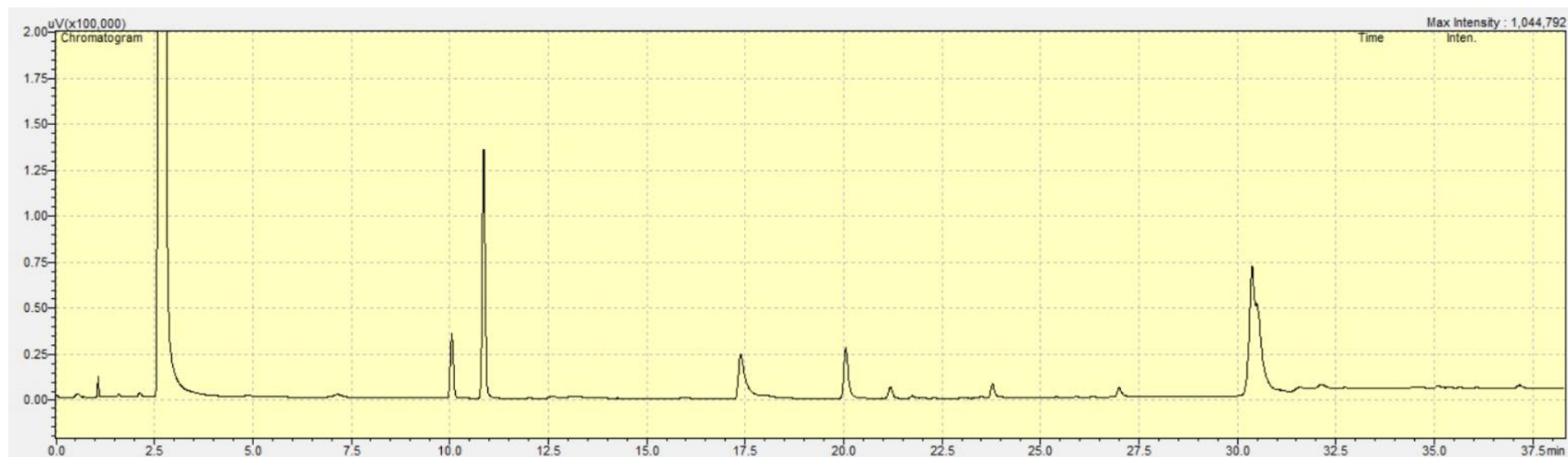


Imagem 18: Cromatograma da primeira replicata do hidromel H12P10''.

Fonte: Autoria própria.

A interpretação dos resultados pode ser dividida em duas etapas: a análise da acidez volátil (ácido acético) e a análise do *fingerprint* (perfil de fermentação) gerado pelos outros compostos.

5.2.4.1 Ácido acético e correlação com acidez volátil

Os resultados das concentrações de ácido acético nas amostras estão apresentados na Imagem 19. O ácido acético apresentou ampla variação entre as amostras, com valores que oscilaram de 0,16 mEq/L a 6,68 mEq/L.

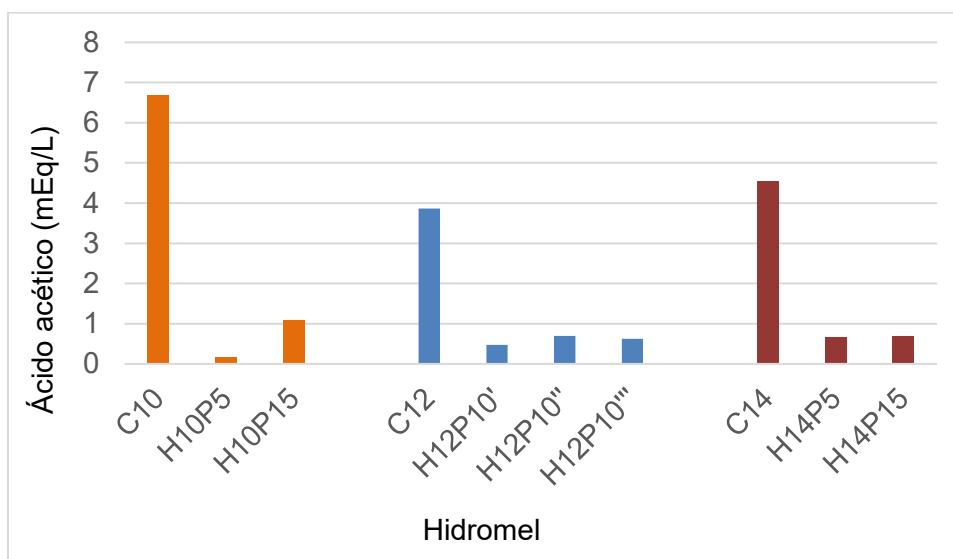


Imagem 19. Concentração de ácido acético (mEq/L)

Fonte: Autoria própria

As amostras fatoriais e de ponto central exibiram níveis consideravelmente menores em relação aos controles, o que confirma a eficiência dos parâmetros de fermentação empregados. Em bebidas fermentadas, a acidez volátil expressa principalmente o teor de ácido acético livre e, portanto, sua quantificação instrumental está diretamente relacionada à medida titulométrica dessa acidez. De acordo com a literatura, valores de ácido acético entre 200 e 600 mg/L são considerados aceitáveis para bebidas fermentadas de baixo teor alcoólico, conferindo frescor e leve percepção ácida sem gerar notas de vinagre (PEREIRA et al, 2019). Os resultados obtidos em todas as amostras situam-se dentro ou abaixo desse intervalo, sugerindo estabilidade química e boa adequação sensorial. No entanto, é válido ressaltar o caráter semiquantitativo desses resultados, expressando a tendência de suas concentrações nos hidroméis.

Por outro lado, nos controles os níveis de ácido acético ficaram comparativamente maiores em relação os níveis nos hidroméis frutados. Tal tendência é coerente com os resultados de acidez volátil, uma vez que o ácido acético constitui o principal componente dessa fração e sua presença excessiva está associada à oxidação do etanol, estresse nutricional pelas leveduras e à possível atividade bacteriana acética (RIBOREAU-GAYON et al., 2006). No entanto, a causa mais provável da diminuição desse composto nos hidroméis frutados é o possível efeito nutritivo do mosto causado pela adição do maracujá.

Em termos sensoriais, o excesso de ácido acético pode resultar em aroma penetrante e gosto avinagrado, incompatíveis com o padrão de aceitação desejado para bebidas alcoólicas (SWIEGERS, 2005). Assim, a manutenção de baixos teores desse composto nos hidroméis fatoriais representa um indicador de boa condução fermentativa e potencial de aplicação mercadológica.

5.2.4.2 Fingerprints

Apesar das variações observadas nas concentrações absolutas dos compostos voláteis, o perfil relativo entre as amostras foi bastante semelhante, não sendo possível estabelecer uma correlação clara com o teor de polpa ou com o °Brix inicial das formulações. Essa homogeneidade indica que a composição volátil dos hidroméis, provavelmente teve mais influência da cepa de levedura utilizada do que pelas condições fatoriais avaliadas.

A literatura relata que o metabolismo secundário das leveduras é o principal responsável pela formação de álcoois superiores, ésteres e ácidos durante a fermentação, e que variações sutis na atividade enzimática, viabilidade celular e disponibilidade de nutrientes nitrogenados podem resultar em perfis aromáticos semelhantes, mesmo sob diferentes composições de mosto (JACKSON, 2008). A Imagem 20 demonstra a proporção relativa dos compostos voláteis encontrados na amostra.

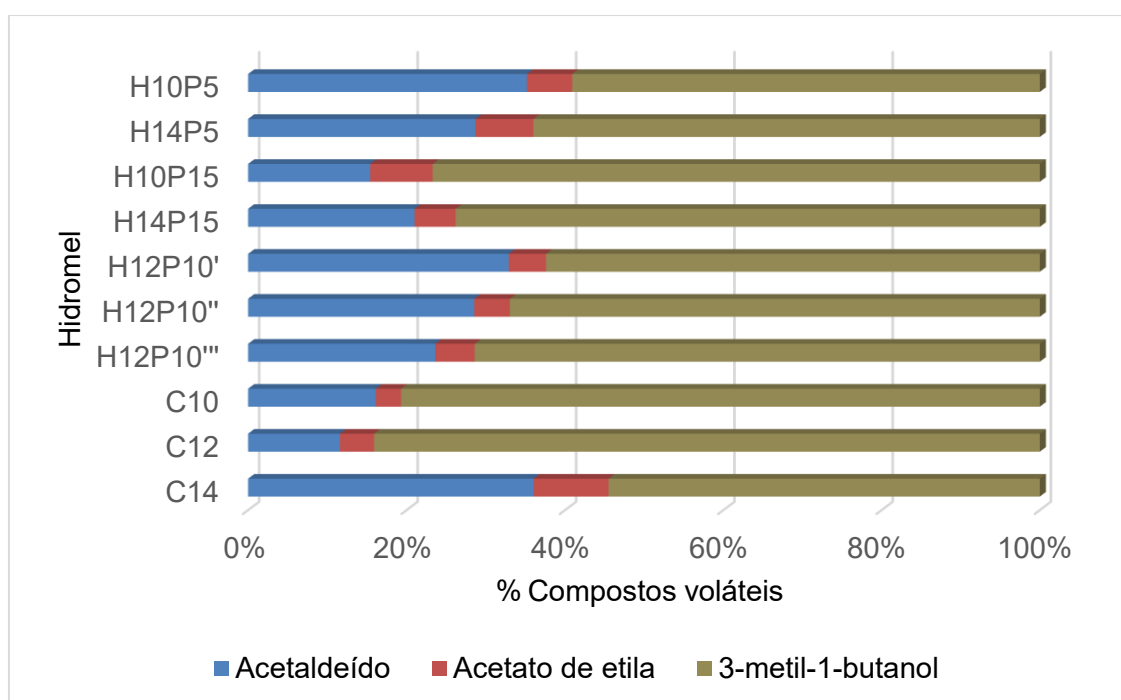


Imagem 20. Proporção relativa dos compostos voláteis majoritários nos hidroméis
 Fonte: Autoria própria.

O acetato de etila foi o principal éster detectado, variando de 3,6 a 10,8 %. Em concentrações moderadas, contribui com notas frutadas e adocicadas, semelhantes a pera e solvente suave, sendo desejável para conferir complexidade aromática (PEREIRA et al., 2019). Entretanto, em níveis muito elevados, o caráter sensorial torna-se excessivamente solvente.

O 3-Metil-1-butanol é o composto dominante em quase todos os hidroméis desse estudo, com concentrações relativas acima de 50%. Em pequenas concentrações, confere notas de álcool quente e corpo à bebida; contudo, valores excessivos podem resultar em aroma pesado e pungente, indesejável em produtos leves como os RTDs.

Já o Acetaldeído é um aldeído que em níveis baixos contribui com notas frescas de maçã verde e nuances frutadas, contudo, em níveis altos é um indicativo de fermentações incompletas, pois é intermediário da oxidação do etanol e tende a ser reduzido a etanol durante o processo fermentativo (JACKSON, 2008).

5.3 RESULTADOS FINAIS

Tabela 12: Parâmetros Físico-químicos dos hidroméis.

Parâmetro	Hidromel									
	H10P5	H14P5	H10P15	H14P15	H12P10'	H12P10''	H12P10'''	C10	C12	C14
Teor alcoólico % (v/v)	5,65 ^{abc} ± 0,12	7,45 ^f ± 0,11	5,24 ^{ab} ± 0,15	6,78 ^{ef} ± 0,36	6,26 ^{cde} ± 0,28	6,08 ^{cde} ± 0,20	6,22 ^{cde} ± 0,26	5,06 ^a ± 0,20	5,93 ^{bcd} ± 0,31	6,51 ^{de} ± 0,46
Acidez total (mEq/L)	39,79 ^a ± 0,57	51,3 ^b ± 0,99	75,63 ^d ± 0,57	80,56 ^e ± 0,57	66,42 ^c ± 1,51	65,11 ^c ± 0,99	66,75 ^b ± 0,57	51,3 ^b ± 0,99	52,28 ^b ± 0,99	53,27 ^b ± 1,71
Acidez fixa (mEq/L)	35,51 ^c ± 0,99	44,72 ^d ± 1,14	72,01 ^g ± 0,99	74,97 ^g ± 0,00	58,86 ^{ef} ± 0,57	60,18 ^f ± 0,99	56,23 ^e ± 1,71	19,4 ^a ± 1,51	20,72 ^a ± 0,99	25,32 ^b ± 1,14
Acidez volátil (mEq/L)	4,27 ^{ab} ± 0,57	6,58 ^{ab} ± 2,05	3,62 ^a ± 1,51	5,59 ^{ab} ± 0,57	7,56 ^{bc} ± 1,14	4,93 ^{ab} ± 0,99	10,52 ^c ± 2,05	31,9 ^e ± 1,51	31,57 ^{de} ± 0,99	27,95 ^d ± 0,57
Açúcares totais (g/L)	34 ± 0,2	49 ± 0,2	34 ± 0,2	46 ± 0,2	43 ± 0,2	42 ± 0,2	41 ± 0,2	34 ± 0,2	37 ± 0,2	39 ± 0,2
Açúcares redutores (g/L)	31,96 ^{abc} ± 0,36	43,42 ^c ± 4,39	21,18 ^a ± 3,83	42,56 ^c ± 1,49	29,48 ^{ab} ± 3,06	28,02 ^{ab} ± 3,18	32,18 ^{abc} ± 1,01	33,64 ^{bc} ± 3,14	36,37 ^{bc} ± 1,05	38,43 ^{bc} ± 4,11
Açúcares não redutores (g/L)	2,04 ± 0,41	5,58 ± 4,39	12,82 ± 3,84	3,44 ± 1,50	13,52 ± 3,07	13,98 ± 3,19	8,82 ± 1,03	0,36 ± 3,14	0,63 ± 1,07	0,57 ± 4,11

Fonte: A autoria própria. Os valores com sobrescritos que compartilhem ao menos uma letra são estatisticamente semelhantes entre si. A análise tukey não se aplica aos dados de açúcares totais e não redutores, pela ausência de replicatas nessas análises.

Síntese dos resultados

Ao final da análise detalhada dos parâmetros físico-químicos, surge um entendimento claro da influência de cada fator de formulação sobre o perfil final do hidromel RTD. O °Brix inicial (10 a 14) consolidou-se como o principal controlador do teor alcoólico e açúcares redutores, apresentando um efeito linear positivo e estatisticamente significativos.

A adição de polpa (5 a 15%), por sua vez, revelou-se a variável dominante para as características da acidez total e fixa e pela crucial adição de açúcares não redutores, que contribuem diretamente para o corpo e a viscosidade da bebida.

Além disso, a adição de polpa apresentou um comportamento não-linear complexo em relação ao álcool, atuando primeiro como suplemento nutricional e posteriormente como agente de diluição. A análise demonstrou um benefício da adição da fruta na composição química já que a polpa causou uma redução significativa na Acidez Volátil quando comparada aos controles, indicando uma fermentação mais desejável.

Paralelamente, a análise de Tukey (Tabela 12) validou experimentalmente estas tendências de forma inequívoca, ao confirmar a dominância da polpa sobre a acidez e a do °Brix sobre o dulçor, separando estatisticamente os diferentes grupos de tratamento, a exemplo dos hidroméis frutados (grupos a, b, c) dos controles (grupos d, e)" na acidez volátil.

Em conjunto, esses resultados não apenas validam a viabilidade de todos os tratamentos frente à legislação vigente, mas também fornecem um modelo de como otimizar a formulação para atingir diferentes perfis de produto.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho atingiu com êxito o objetivo de desenvolver e caracterizar hidroméis com características similares a bebidas *Ready-to-Drink (RTD)*, explorando a adição de extrato de polpa de maracujá como alternativa natural de suplementação e aprimoramento sensorial. A estratégia experimental adotada, baseada em um planejamento fatorial 2^2 com ponto central, permitiu compreender de forma sistemática os efeitos das variáveis °Brix e teor de polpa sobre parâmetros fermentativos e físico-químicos essenciais, fornecendo base estatística robusta para a otimização da formulação.

Os resultados demonstraram que o °Brix inicial foi o principal fator associado ao

aumento do teor alcoólico, enquanto o teor de polpa de maracujá influenciou significativamente a acidez total e fixa, além de reduzir expressivamente a acidez volátil.

A análise conjunta dos parâmetros de açúcares redutores e não redutores evidenciou consumo eficiente de açúcares fermentescíveis, com variações coerentes às condições fermentativas. O emprego do DOE possibilitou identificar condições otimizadas de formulação, especialmente aquelas com °Brix intermediário (12 a 14) e polpa em torno de 10%, que proporcionaram bom rendimento alcoólico, acidez equilibrada e estabilidade química. Esses resultados sustentam o potencial da formulação desenvolvida como base tecnológica para um hidromel de perfil sensorial leve e refrescante, adequado ao conceito de bebidas RTD de baixa graduação alcoólica.

Como perspectivas futuras, acredita-se que uma análise sensorial com as concentrações escolhidas de polpa e °Brix pode ser realizada a fim de entender a aceitação do produto e a intenção de compra.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2009. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Instrução Normativa nº 34, de 29 de novembro de 2012. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para o hidromel. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 nov. 2012. Seção 1, p. 3.

FIGUEIREDO, Cândido de. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. Lisboa: Livraria Bertrand, 1913.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 maio 2021. Seção 1, p. 126-136.

CAMARGO, R. C. R. de et al. Mel: características e propriedades. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 29 p. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1517-1846; 114). Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=69419&biblioteca=vazio&busca=69419&qFacets=69419&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 3 jun. 2025.

PEREIRA, Danilo Aparecido; MACRI, Rita de Cássia Vieira; GIMENEZ, Alex Zerbinatti. FATORES QUE AFETAM A FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA. Revista Ciência & Tecnologia, Guarapuava, v. 12, n. 1, p. 44-55, jan./jun. 2020. DOI: 10.52138/citec.v12i1.113. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350623158_FATORES_QUE_AFETAM_A_FERMENTACAO_ALCOOLICA. Acesso em: 3 jun. 2025.

PIRRONE, Antonino et al. Use of non-conventional yeasts for enhancing the sensory quality of craft beer. Food Research International, v. 208, p. 116164, 2025. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116164. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996925005010>. Acesso em: 3 jun. 2025.

GUPTA, J. K.; SHARMA, Rajesh. Production technology and quality characteristics of mead and fruit-honey wines: A review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, v. 8, n. 4, p. 345-355, jul./ago. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285797341_Production_technology_and_quality_characteristics_of_mead_and_fruit-honey_wines_A_review. Acesso em: 3 jun. 2025.

SIMÃO, Larissa et al. Influence of nitrogen, minerals and vitamins supplementation on honey wine production using response surface methodology. *Journal of Apicultural Research*, v. 60, n. 1, p. 75-84, 2021. DOI: 10.1080/00218839.2020.1793277. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00218839.2020.1793277>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SCHMIDT, Ronald H. Basic Elements of Equipment Cleaning and Sanitizing in Food Processing and Handling Operations. Gainesville: EDIS, University of Florida, v. 2012, n. 1, 2012. DOI: 10.32473/edis-fs077-2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237114642_Basic_Elements_of_Equipment_Cleaning_and_Sanitizing_in_Food_Processing_and_Handling_Operations1. Acesso em: 3 jun. 2025.

RAMALHOSA, Elsa et al. Mead production: Tradition versus modernity. In: JACKSON, Ronald S. (ed.). *Advances in Food and Nutrition Research*. Burlington: Academic Press, 2011. v. 63, p. 101-118. DOI: 10.1016/B978-0-12-384927-4.00004-X. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/51596126>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SCHRAMM, Ken. *The Compleat Meadmaker: Home Production of Honey Wine from Your First Batch to Award-Winning Fruit and Herb Variations*. Boulder, CO: Brewers Publications, 2003.

MADIGAN, M. T. et al. *Brock Biology of Microorganisms*. 15th ed. Pearson, 2018.

BORZANI, Walter; SCHMIDEL, Willibaldo; LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugênio. *Biotechnologia industrial- Fundamentos*. Editora Blucher, São Paulo, V. 01, 2ª Ed., 2001.

MA, Teng-Zhen et al. Effect of Different Clarification Treatments on the Volatile Composition and Aromatic Attributes of 'Italian Riesling' Icewine. *Molecules*, v. 25, n. 11, p. 2657, 2020. DOI: 10.3390/molecules25112657. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/342057990_Effect_of_Different_Clarification_Treatments_on_the_Volatile_Composition_and_Aromatic_Attributes_of_'Italian_Riesling'_Icewine. Acesso em: 3 jun. 2025.

PASCOAL, Ananias et al. Influence of fining agents on the sensorial characteristics and volatile composition of mead. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 123, n. 4, 2017. DOI: 10.1002/jib.445. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319210990_Influence_of_fining_agents_on_the_sensorial_characteristics_and_volatile_composition_of_mead. Acesso em: 3 jun. 2025.

BAN, Yuqian et al. Metabolic Dynamics and Sensory Impacts of Aging on Peony Mead: Insights into Nonenzymatic Reactions. *Foods*, v. 14, n. 6, p. 1021, 2025. DOI: 10.3390/foods14061021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/6/1021#B4-foods-14-01021>. Acesso em: 3 jun. 2025.

GRAND VIEW RESEARCH. Ready-to-Drink Cocktails Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Malt-based, Spirit-based, Wine-based), By Packaging (Bottles, Cans), By Distribution Channel (Hypermarkets/Supermarkets, Online), By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030. [San Francisco, CA]: Grand View Research, 2025. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/ready-to-drink-cocktails-market>. Acesso em: 12 maio 2025.

PAIXÃO, Guilherme. Bebidas 'ready to drink' ganham espaço em bares e restaurantes. Agência ABRASCEL, 24 mar. 2025. Disponível em: <https://agenciaabrascel.com.br/noticias/bebidas-ready-to-drink/>. Acesso em: 13 maio 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. RTD Beverages Market - Ready to Drink - Size, Share & Trends. Hyderabad: Mordor Intelligence, 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ready-to-drinks-beverages-market>. Acesso em: 3 jun. 2025.

OLIVEIRA, Aline. Geração Z: Uma geração que consome menos álcool? Por quê? MindMiners Blog, 5 jul. 2022. Disponível em: <https://mindminers.com/blog/geracao-z-estudo-bebidas/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

GALINA, Décio. Mercado global de ready-to-drink mira US\$ 85,5 bilhões em 2030. *Forbes Brasil*, 27 nov. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-money/2022/11/mercado-global-de-ready-to-drink-mira-us-855-bilhoes-em-2030/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Ready-to-drink (RTD) Beverages Market. Pune: Fortune Business Insights, 2025. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/ready-to-drink-rtd-beverages-market-102124>. Acesso em: 6 jun. 2025.

GRANATO, D.; CALADO, V. M. de A.; JARVIS, B. Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, v. 55, p. 137-149, 2014.

ALVAREZ, Maria Fernanda et al. Microbial and chemical characteristics of mead fermented with non-*Saccharomyces* yeasts. *Food Research International*, v. 89, parte 1, p. 110-117, nov. 2016. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.08.012

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA/MAPA nº 140, de 28 de fevereiro de 2024. Aprova a Consolidação das Normas de Bebidas, Fermentados Acéticos, Vinhos e Derivados da Uva e do Vinho, nacionais e importados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 43, Seção 1, p. 5, 4 mar. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem-vegetal/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/Anexo_Instrucao_Normativa_140_2024_5Edicao.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

OLIVEIRA, Patrícia Natielly, et al. Characterization and volatile profile of passion fruit spirit. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 21, 2020. Artigo 100223. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2020.100223. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878450X20301001>. Acesso em: 16 out. 2025.

LIBINDO, Marcelo et al. Informações para a composição de tabela nutricional da polpa do maracujá BRS Pérola do Cerrado. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 335. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2016. 17 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1068963/1/Bolpd335.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Maracujá. Cruz das Almas, BA, (2025). Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja>. Acesso em: 23 out. 2025.

TSAPOVSKY, Flora. Passion fruit packs a punch to the year's trends. *Eater*, 18 set. 2025. Disponível em: <https://www.eater.com/dining-out/909570/passion-fruit-packs-a-punch-to-the-years-trends>. Acesso em: 23 out. 2025.

DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. Global Passion Fruit Market. [Pune]: Data Bridge Market Research, (2025). Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-passion-fruit-market>. Acesso em: 23 out. 2025.

SANTOS, Diego Rafael Nunes dos et al. Physicochemical Characterization of Craft Beers Produced with Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 44, n. 1, p. 57-65, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359091207_Physicochemical_Characterization_of_Craft_Beers_Produced_with_Passion_Fruit_Passiflora_edulis_Sims. Acesso em: 23 out. 2025.

JACKSON, Ronald S. Wine science: principles and applications. 3. ed. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2008. 752 p. Disponível em: <https://ttnngmai.files.wordpress.com/2015/09/wine-science.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

Savić, Aleksandar et al. Influence of blackberry juice addition on mead fermentation and quality. *Foods and Raw Materials*, v. 9, n. 1, p. 146-152, 2021. DOI: 10.21603/2308-4057-2021-1-146-152. Disponível em: <https://jstrategizing.kemsu.ru/ru/nauka/article/42892/view>. Acesso em: 24 out. 2025.

AMORIM, Thaíse Souza et al. Influence of acerola pulp concentration on mead production by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI 796. *LWT*, v. 97, p. 561-569, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818305929>. Acesso em: 24 out. 2025.

JESUS, Geisimara Santos de et al. Influência de diferentes concentrações de suco de jenipapo na elaboração de Melomel: Influence of different concentrations of genipap juice in Melomel preparation. *Europub Journal of Animal and Environmental Research*, Portugal, v. 3, n. 1, p. 49-71, set. 2022. DOI: 10.54748/ejaerv3n1-005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364650282_Influencia_de_diferentes_concentracoes_de_suco_de_jenipapo_na_elaboracao_de_Melomel_Influence_of_different_concentrations_of_genipap_juice_in_Melomel_preparation. Acesso em: 24 out. 2025.

LOPES, Ludmilla Sousa. Produção, desenvolvimento analítico e conformidade legal do hidromel no cenário brasileiro. 2024. Exame de Qualificação (Química) – Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024

SILVA, Roberto do Nascimento et al. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. *Food Science and Technology*, Campinas, v. 23, n. 3, p. 337-341, dez. 2003. DOI: 10.1590/S0101-20612003000300007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/fsfZj35NNBsVXkTfHJWrRQG/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 24 out. 2025.

VASCONCELOS, Natália Moura de et al. Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n.

88. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 29 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/982130/1/BPD13017.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

MALDONADE, Iriani R.; CARVALHO, Patrícia G. B.; FERREIRA, Nathalie A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. *Comunicado Técnico*, n. 85. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/956032/1/cot85.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. 4. ed. (1ª Edição Digital). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

PEREIRA, Ana Paula et al. Volatile Composition and Sensory Properties of Mead. *Microorganisms*, v. 7, n. 10, Artigo 404, set. 2019. DOI: 10.3390/microorganisms7100404. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336136742_Volatile_Composition_and_Sensory_Properties_of_Mead. Acesso em: 5 nov. 2025.

SWIEGERS, J. H. et al. Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v. 11, n. 2, p. 139-173, ago. 2005. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2005.tb00285.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00285.x>. Acesso em: 7 nov. 2025.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. RTDs in Brazil. [S.l.]: Euromonitor International, 2025. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/rtids-in-brazil/report>. Acesso em: 23 out. 2025

PEREIRA, A. P. et al. Mead production: Effect of nitrogen supplementation on growth, fermentation profile and aroma formation by yeasts in mead fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 121, n. 1, p. 1-7, fev. 2015. DOI: 10.1002/jib.184. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270911582_Mead_production_Effect_of_nitrogen_supplementation_on_growth_fermentation_profile_and_aroma_formation_by_yeasts_in_mead_fermentation. Acesso em: 5 nov. 2025.

SEGUINOT, Pauline et al. Impact of the timing and the nature of nitrogen additions on the production kinetics of fermentative aromas by *Saccharomyces cerevisiae* during winemaking fermentation in synthetic media. *Food Microbiology*, v. 76, p. 29-39, dez. 2018. DOI: 10.1016/j.fm.2018.04.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002017310614>. Acesso em: 5 nov. 2025.

LIU, X. et al. Effect of initial pH on growth characteristics and fermentation properties of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Science*, v. 80, n. 4, p. M800-M808, abr. 2015. DOI: 10.1111/1750-3841.12813. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25777552/>. Acesso em: 5 nov. 2025.

RIBOREAU-GAYON, Pascal et al. Handbook of enology. Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2006.

SANTOS, T. Barbosa et al. Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of the Pulp of Two Brazilian Passion Fruit Species: *Passiflora Cincinnata* Mast. And *Passiflora Edulis* Sims. *International Journal of Fruit Science*, v. 21, n. 1, p. 255-269, 2021. DOI: 10.1080/15538362.2021.1872050. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348735155_Phytochemical_Compounds_and_Antioxidant_Activity_of_the_Pulp_of_Two_Brazilian_Passion_Fruit_Species_Passiflora_Ci

ncinnata_Mast_And_Passiflora_Edulis_Sims. Acesso em: 5 nov. 2025.

PAISSONI, C. et al. Mouthfeel subqualities in wines: A current insight on sensory descriptors and physical–chemical markers. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 22, n. 4, p. 3328-3365, jul. 2023. DOI: 10.1111/1541-4337.13184. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.13184>. Acesso em: 5 nov. 2025.

HAIR, Joseph F. et al. *Multivariate Data Analysis*. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2010.

MESQUITA, Paulo Roberto Ribeiro et al. Determination of the physicochemical profile and volatile compounds of meads produced in different regions of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 97, n. 4, 2025. Artigo 20250020. DOI: 10.1590/0001-3765202520250020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/6VCjvLwnHkQ3SRZTBKqfTnh/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

GOMES, T. et al. Optimization of mead production using Response Surface Methodology. *Food and Chemical Toxicology*, v. 59, p. 680-686, set. 2013. DOI: 10.1016/j.fct.2013.06.034. Disponível em: [Endereço Eletrônico Original, se aplicável]. Acesso em: 11 nov. 2025.

Schwarz, L. V., Marcon, A. R., Delamare, A. P. L., & Echeverrigaray, S. (2020). Influence of nitrogen, minerals and vitamins supplementation on honey wine production using response surface methodology. *Journal of Apicultural Research*, 60(1), 57–66. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1793277>

WALKER, Graeme M. et al. Yeast-metal interactions: impact on brewing and distilling fermentations. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277787960_Yeast-metal_interactions_impact_on_brewing_and_distilling_fermentations. Acesso em: 11 nov. 2025.

UBUKATA, Shuichiro; SEKI, Hiroko. Effect of additives on the fermentative ability of commercial dry yeast in the production of mead. *Food Science and Applied Biotechnology*, v. 7, n. 2, p. 224-230, out. 2024. DOI: 10.30721/fsab2024.v7.i2.363. Disponível em:

<https://www.ijfsab.com/index.php/fsab/article/view/363>. Acesso em: 11 nov. 2025.

AMORIM, Thaíse Souza et al. Influence of acerola pulp concentration on mead production by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI 796. *LWT - Food Science and Technology*, v. 97, p. 561-569, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818305929>. Acesso em: 11 nov. 2025.

MENDES-FERREIRA, A. et al. Optimization of honey-must preparation and alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for mead production. *International Journal of Food Microbiology*, v. 144, n. 1, p. 193-198, 15 nov. 2010. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20937538/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

MENDES-FERREIRA, A. et al. Optimization of honey-must preparation and alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for mead production. *International Journal of Food Microbiology*, v. 144, n. 1, p. 193-198, 15 nov. 2010. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20937538/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

VITORINO-JUNIOR, Jeferson S. et al. Sugar consumption profiles in mead production using accessible control analysis. *Kuwait Journal of Science*, v. 51, n. 2, Artigo 100204, 2024. DOI: 10.1016/j.kjs.2024.100204. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307410824000294>. Acesso em: 12 nov. 2025.

RIBÉREAU-GAYON, P. et al. Handbook of Enology: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. 2. ed. v. 2. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2006.