



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FRANCISCO LEONARDO GOMES DE LIMA

**ESTUDO DO EFEITO DA AGITAÇÃO NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO
SUCO DE CAJU CLARIFICADO**

FORTALEZA

2023

FRANCISCO LEONARDO GOMES DE LIMA

ESTUDO DO EFEITO DA AGITAÇÃO NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO SUCO
DE CAJU CLARIFICADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências da
Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro de Lima
França
Coorientadora: Dra. Ana Iraidy Santa Brígida

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698e Lima, Francisco Leonardo Gomes de.
Estudo do efeito da agitação na fermentação alcoólica do suco de caju clarificado / Francisco Leonardo Gomes de Lima. – 2023.
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro de Lima França.
Coorientação: Profa. Dra. Ana Iraidy Santa Brígida.

1. Pedúnculo do caju. 2. Bebida fermentada. 3. Cultivo agitado. I. Título.

CDD 664

FRANCISCO LEONARDO GOMES DE LIMA

ESTUDO DO EFEITO DA AGITAÇÃO NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO SUCO
DE CAJU CLARIFICADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências da
Universidade Federal do Ceará.

Aprovada em: 12/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro de Lima França (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Andréa Cardoso de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Laiza Brito Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais e ao meu autocontrole.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve comigo nessa caminhada e me ajudou a enfrentar os obstáculos que vieram a aparecer e não me deixou desistir dessa jornada árdua e ao mesmo tempo gratificante.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram a continuar minha jornada acadêmica e me permitir abrir a mente para a importância da educação para o mundo, especialmente minha mãe. Realizarei o sonho deles de ver o primeiro membro da nossa família graduado, terei orgulho disso. Agradeço também ao apoio da minha família, minhas tias, minhas primas e irmãos, que contribuíram para que eu pudesse terminar minha jornada acadêmica da melhor maneira possível, mesmo com diversos momentos de estresse e discussão.

Ao meu orientador, o professor Dr. Ítalo Waldimiro e minha coorientadora Dra. Ana Iraidy, por todos os ensinamentos passados, por toda a paciência e principalmente por me manter calmo e positivo em meio a todas as adversidades que enfrentei durante a pesquisa, além de oferecer orientação da melhor forma possível. A equipe do laboratório de tecnologia da biomassa, especialmente a quase doutora Jéssica Almeida, que me ajudaram bastante nos experimentos, nas dificuldades diárias e nas rotinas exaustivas no laboratório nessa reta final.

À professora Dra. Suzana Cláudia Martins, por me acolher no início da graduação e me oferecer a primeira oportunidade de experiência em laboratório, além de me mostrar o incrível mundo da microbiologia, a qual me apaixonei. A professora Dra. Larissa Moraes por me permitir vivenciar uma experiência única no período de monitoria, que me fez apaixonar ainda mais pela microbiologia e pelo ensino e difusão de conhecimentos. Um agradecimento especial à professora Dra. Andrea Cardoso e a equipe NUPGAM que me ajudaram a me transformar como pessoa, melhorando meu desempenho pessoal e profissional, oferecendo da melhor maneira possível as oportunidades dentro do ambiente universitário, vocês foram muito importantes para a pessoa que sou hoje.

Aos meus amigos de longa data, Katrine, Suzana, Pedro e Cibelly que estão comigo antes mesmo de eu pensar em ingressar em Engenharia de Alimentos, o apoio de vocês foi significativo nas minhas escolhas. Aos meus amigos de faculdade que quero levar para a vida, especialmente Patrícia, Michele e Bruna, que sempre foram uma forma de proteção e escape dessa vida universitária tão difícil, vocês me ajudaram a enfrentar da maneira mais leve possível. Soraya, Lanna, Emanuel e muitos outros também foram importantes nessa jornada. Por fim, é nas nossas escolhas que encontramos nosso destino.

“Todas as coisas verdadeiramente importantes não estão à mostra.” (Cornelia Funke; Guillermo Del Toro, 2019, p. 72).

RESUMO

O cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta nativa do Brasil muito comum no Nordeste e Norte brasileiro. O pedúnculo do caju representa a parte carnosa e polposa do caju, muitas vezes confundido com o fruto do cajueiro. O Brasil é líder na produção mundial de pedúnculo de caju, produzindo cerca de 1,35 milhões de toneladas ao ano, com o Ceará sendo o estado brasileiro com maior participação dentro do mercado. Mesmo com alta produção, apenas 12% do pedúnculo é aproveitado na indústria. Um interessante destino para o pedúnculo visando diminuir seu desperdício é sua utilização para produção de bebida fermentada alcoólica, obtida a partir do suco de caju clarificado. O microrganismo mais utilizado para a produção de bebidas fermentadas alcoólicas é a *Saccharomyces cerevisiae*, que é capaz de fermentar o substrato a qual se encontra e produzir etanol, gás carbônico, água e outros produtos durante o processo fermentativo. Um dos parâmetros importantes na produção de fermentados alcoólicos é a agitação do meio, pois a presença do oxigênio pode alterar as características físico-químicas do fermentado final. Com finalidade de investigar a influência da agitação na produção nas características físico-químicas do fermentado alcoólico de caju utilizando a *S. cerevisiae*, foram testadas duas condições de cultivo experimentais, agitada, com agitação do meio a 150 rpm e estático, sem agitação do meio, em dois tempos distintos de fermentação, a 24h e 48h. Os parâmetros avaliados foram pH, acidez, sólidos solúveis, açúcares totais, produção de biomassa e teor alcoólico. O fermentado de caju produzido em sistema agitado obteve valores de pH de 4,5 e 4,35, acidez de 0,47% e 0,66% em % de ácido acético e teor alcoólico de 6,7 e 7,1%, para os tempos de 24 e 48h de fermentação, respectivamente. Já o fermentado produzido em cultivo estático apresentou pH de 4,59 e 4,67, acidez de 0,55% e 0,45% em % de ácido acético e teor alcoólico de 5,6 e 6,4%, no mesmo período de tempo. A produção de biomassa não foi satisfatória em ambas as condições, com valores após 48h de fermentação de 11,50 g/L e 10,01 g/L. O teor de açúcares final ficou em torno de 3,65 g/L e 3,00 g/L, com teor de sólidos solúveis de 4,0 e 4,3 °Brix ao final da fermentação, para o cultivo estático e agitado, respectivamente. Ao final dos estudos, foi possível observar o efeito positivo da agitação nas características físico-químicas e na qualidade final do fermentado de caju, produzindo maior quantidade de álcool, além de apresentar o suco clarificado de caju como um bom potencial para a produção de bebidas, aproveitando a matéria-prima regional.

Palavras-chave: pedúnculo do caju; bebida fermentada; cultivo agitado.

ABSTRACT

The cashew tree (*Anacardium occidentale*) is a native plant of Brazil, very common in the Northeast and North regions of the country. The cashew apple represents the fleshy and pulpy part of the cashew, often confused with the fruit of the cashew tree. Brazil is the world leader in cashew apple production, producing approximately 1.35 million tons per year, with Ceará being the Brazilian state with the largest share in the market. Despite high production, only 12% of the cashew apple is utilized in the industry. An interesting destination to reduce its waste is its use in the production of fermented alcoholic beverages, obtained from clarified cashew juice. The microorganism most used to produce fermented alcoholic beverages is *Saccharomyces cerevisiae*, which can ferment the substrate it is in and produce ethanol, carbon dioxide, water, and other products during the fermentation process. One important parameter in the production of alcoholic fermentations is the agitation of the medium, as the presence of oxygen can alter the physicochemical characteristics of the final fermented product. To investigate the influence of agitation on the production of cashew alcoholic fermentation using *S. cerevisiae*, two experimental cultivation conditions were tested: agitated, with medium agitation at 150 rpm, and static, without medium agitation, at two different fermentation times, 24h and 48h. The evaluated parameters were pH, acidity, soluble solids, total sugars, biomass production, and alcohol content. The cashew fermented in an agitated system obtained pH values of 4.5 and 4.35, acidity of 0.47% and 0.66% in % acetic acid, and alcohol content of 6.7% and 7.1%, for the 24h and 48h fermentation times, respectively. On the other hand, the fermented produced in static cultivation showed pH values of 4.59 and 4.67, acidity of 0.55% and 0.45% in % acetic acid, and alcohol content of 5.6% and 6.4%, at the same time. Biomass production was not satisfactory in both conditions, with values of 11.50 g/L and 10,01 g/L after 48h of fermentation. The final sugar content was around 3.65 g/L and 3.00 g/L, with soluble solids content of 4.0 and 4.3 °Brix at the end of fermentation, for static and agitated cultivation, respectively. At the end of the studies, it was possible to observe the positive effect of agitation on the physicochemical characteristics and the final quality of cashew fermentation, producing a greater amount of alcohol, in addition to presenting clarified cashew juice as a good potential for beverage production, utilizing regional raw materials.

Keywords: cashew apple; fermented beverage; agitated system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da participação percentual dos estados nordestinos brasileiros na área de cajueiro colhida em 2022	18
Figura 2 – Principais produtos obtidos a partir do caju (castanha e pedúnculo)	19
Figura 3 – Principais produtos obtidos a partir do processamento do pedúnculo de caju .	21
Figura 4 – Fluxograma de obtenção do suco de caju clarificado	22
Figura 5 – Suco de caju clarificado	23
Figura 6 – Reação de transformação da glicose em etanol e CO ₂ durante o processo de fermentação	24
Figura 7 – Curva de crescimento microbiano	26
Figura 8 – Gráfico da produção de biomassa do fermentado de caju nas diferentes condições experimentais	35
Figura 9 – Gráfico do consumo de açúcares totais e teor de sólidos solúveis totais (SST) do fermentado de caju nas diferentes condições experimentais	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição nutricional do pedúnculo do caju	20
Tabela 2 – Composição química do pedúnculo do caju	20
Tabela 3 – Características físico-químicas de acordo com os Padrões de identidade e qualidade para o suco clarificado de caju	21
Tabela 4 – Caracterização físico-química do suco de caju clarificado	32
Tabela 5 – Análise do pH e da acidez do fermentado de caju após 24 e 48h de fermentação	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LCC	Líquido da castanha de caju
SCC	Suco de caju clarificado
pH	Potencial hidrogeniônico
ATP	Adenosina trifosfato
CO ₂	Gás carbônico
EMPRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária
YPD	Yeast Extract Peptone Dextrose
SST	Sólidos solúveis totais
RPM	Rotação por minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca Registrada
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Cajucultura	17
3.2	Aproveitamento do pedúnculo do caju	19
3.2.1	<i>Suco clarificado de caju</i>	21
3.3	Fermentação Alcoólica	24
3.4	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	25
3.5	Crescimento Microbiano	26
3.6	Efeitos da agitação no processo fermentativo	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	Materiais	28
4.2	Métodos	28
4.2.1	<i>Preparo do mosto</i>	28
4.2.2	<i>Fermentação Alcoólica</i>	28
4.2.3	<i>Curva padrão de crescimento</i>	29
4.2.4	<i>Teor alcoólico</i>	30
4.2.5	<i>pH e acidez titulável</i>	30
4.2.6	<i>Sólidos solúveis</i>	31
4.2.7	<i>Açúcares totais</i>	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Caracterização físico-química do suco de caju clarificado	32
5.2	Caracterização físico-química dos fermentados	32
5.2.1	<i>pH, acidez titulável e teor alcoólico</i>	32
5.2.2	<i>Produção de biomassa</i>	34
5.2.3	<i>Açúcares Totais e Sólidos Solúveis Totais (SST)</i>	36
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39

ANEXO A – Curva de rescimento <i>S. cerevisiae</i>	44
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta proveniente da família *Anacardiaceae*, encontrada abundantemente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. O caju é composto pela castanha, que representa 10% do peso total do caju, e o pedúnculo, que representa 90% e muitas vezes é confundido com o fruto do cajueiro (PAIVA *et al*, 2000; GAZZOLA *et al*, 2006). A castanha é o principal produto comercializado no setor, enquanto somente 12% do pedúnculo é aproveitado industrialmente, sendo a produção de suco integral o principal destino para o pedúnculo (PAIVA *et al*, 2000). O pedúnculo possui diversos nutrientes vantajosos para a formulação de produtos, sendo rico em vitamina C, compostos fenólicos e alguns minerais. Devido sua interessante composição nutricional, alternativas para o seu aproveitamento industrial já estão sendo utilizadas, sendo fabricados diversos produtos a partir do pedúnculo, como sucos, polpas, doces, condimentos, entre outros.

Uma das formas de aproveitar o pedúnculo é produzir bebidas fermentadas a partir do suco. As bebidas fermentadas a partir do caju tanto podem ser alcoólicas, como o vinho e o espumante de caju, com também podem ser fermentadas por bactérias ácido lácticas, buscando um alimento funcional com características sensoriais distintas.

A legislação brasileira define bebida fermentada de fruta como uma bebida com graduação alcoólica de 4 a 14% em volume, a vinte graus Celsius, obtida da fermentação alcoólica do mosto de fruta sã e madura, de espécie única, do suco integral ou concentrado, podendo-se utilizar polpa, sendo adicionado de água (BRASIL, 2009). Diversos microrganismos são estudados e utilizados na fermentação alcoólica de bebidas vegetais, como *Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces bayanus* var. *uvarum*, *Saccharomyces pastorianus*, e, a mais utilizada, *Saccharomyces cerevisiae* (ARROYO-LÓPEZ, 2009; PAGANE e GARCIA-CRUZ, 2009).

A *Saccharomyces cerevisiae* é uma espécie de levedura amplamente estudada e utilizada na indústria de produtos fermentados, principalmente no ramo de bebidas alcoólicas e na indústria de panificação (VEIGA, 2022). É um microrganismo unicelular e eucariótico, sendo anaeróbio facultativo. Durante seu crescimento em processo fermentativo, essa levedura é capaz de fermentar os açúcares presentes no meio e converter em biomassa, CO₂ e água, em condições aeróbicas, e em etanol e CO₂, em condições anaeróbicas (DO SANTOS *et al*, 2010), sendo a agitação um fator de importância para as características físico-químicas e organolépticas do produto final.

A agitação de forma eficiente permite fornecer oxigênio e maior acesso aos nutrientes do meio à levedura, permitindo uma maior reprodução celular e um metabolismo mais ativo para o consumo dos açúcares e produção dos produtos de interesse, como o etanol e alguns outros compostos como ácidos e CO₂, que podem alterar as características finais do fermentado (CRUZ, 2019; MENDES, 2013).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as mudanças nas características físico-químicas de bebida fermentada alcoólica de caju produzida em cultivo estático e agitado.

2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar o suco de caju clarificado antes e após a fermentação avaliando os parâmetros físico-químicos como: pH, acidez, sólidos solúveis e açúcares totais;
- Avaliar a produção de biomassa nas diferentes condições testadas;
- Avaliar a quantidade de álcool produzida em ambas as condições experimentais e comparar seu efeito;
- Avaliar a qualidade do fermentado produzido e avaliar a viabilidade do suco de caju clarificado na produção de bebida alcoólica como forma de aproveitamento do pedúnculo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

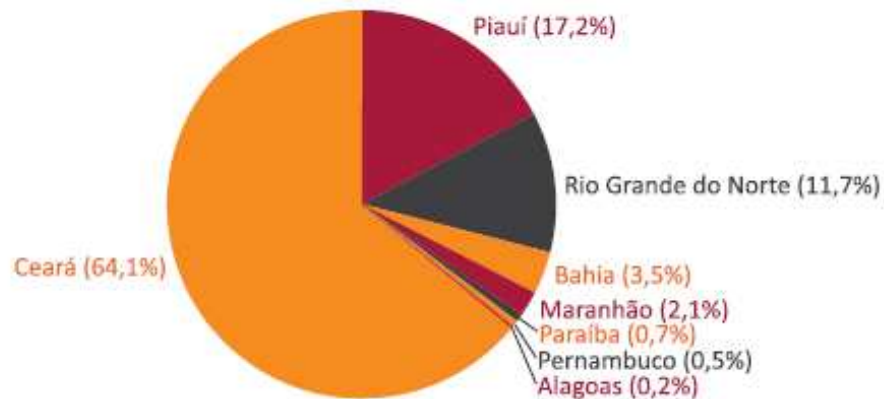
3.1 Cajucultura

O cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta originária do Brasil, encontrado abundantemente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (GAZZOLA *et al*, 2006). É uma planta perene e de porte médio, com suas variedades sendo agrupadas entre cajueiro comum, com altura média entre 5 e 8 metros de altura e possui desenvolvimento mais prolongado, e o anão precoce, com altura média de 4 metros e possui maior produtividade em comparação ao cajueiro comum (BARROS, 2021; EMBRAPA, 2001). Do cajueiro obtém-se o caju, que engloba a castanha, o fruto verdadeiro e mais firme, e o pedúnculo, pseudofruto onde se encontra a parte carnosa e polposa do fruto (SANTOS, 2022). A castanha é o fruto verdadeiro do cajueiro, e demora cerca de 52-60 dias desde seu surgimento até a sua completa maturação (BARROS, 2021). Já o pedúnculo deriva-se como um prolongamento da castanha, muitas vezes confundido com o fruto, devido a sua semelhança com outros frutos tropicais (GAZZOLA *et al*, 2006).

A castanha possui somente uma semente e é dividida em três partes distintas: Casca, película e amêndoa (PAIVA *et al*, 2006). A amêndoa é rica em proteínas, lipídios e carboidratos, além de ferro, magnésio e zinco (GAZZOLA *et al*, 2006). A partir da casca, pode-se obter o líquido da castanha do caju (LCC), rico em compostos fenólicos e considerado um subproduto da produção de caju (CAVALCANTE, 2018).

A castanha de caju é o principal produto comercializado a partir do cajueiro, com a produção de 139,9 mil toneladas em uma área de 426,1 mil hectares em 2020, com a região Nordeste representando 99,7% dos hectares cultiváveis do cajueiro (BRAINER, 2022). O Ceará representa 64,1% da participação total de área de cajueiro colhida (Figura 1), sendo o estado com maior produção de castanha de caju do Brasil, seguidos pelos estados do Piauí (17,2%) e Rio Grande do Norte (11,7%).

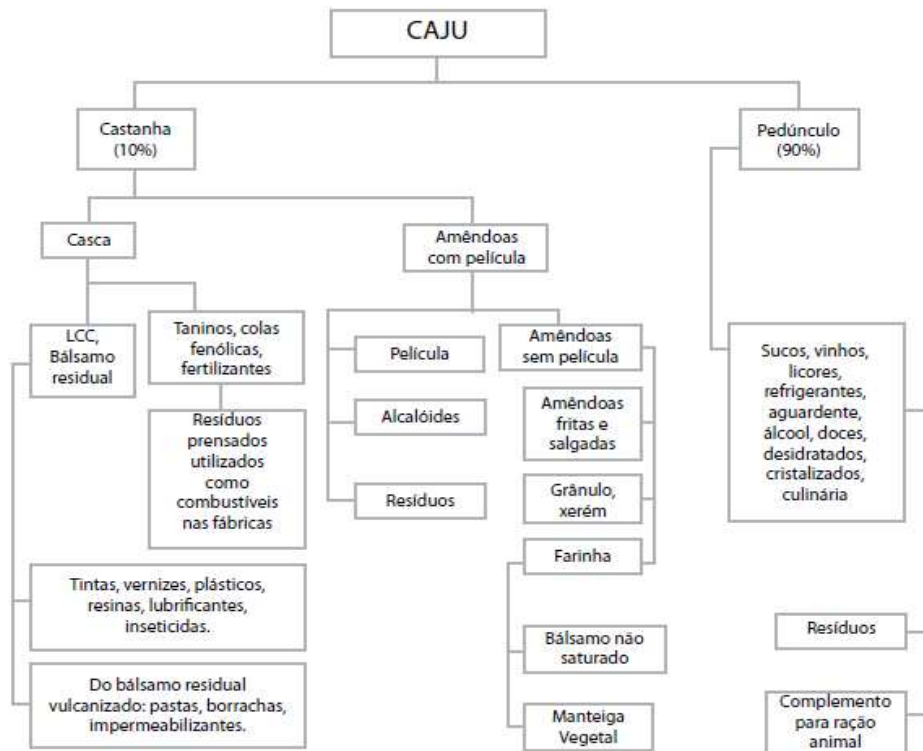
Figura 1 – Gráfico da participação percentual dos estados nordestinos brasileiros na área de cajueiro colhida, em 2022.



Fonte: BRAINER, 2022.

O pedúnculo do caju é outro produto comercializado a partir do cajueiro. Ele possui coloração que varia do amarelo ao laranja-avermelhado, dependendo do seu grau de maturação, e representa a parte suculenta e carnosa do fruto, com sua coloração varia do amarelo ao avermelhado (SOUSA, 2021). O pedúnculo tem como principal meio de comercialização o consumo *in natura* como fruta fresca, também podendo ser utilizado para a fabricação de doces, bebidas (sucos, cajuínas, bebidas alcoólicas), compotas, geleias etc (PAIVA *et al*, 2000). O Brasil é líder na produção mundial de pedúnculo de caju, participando com 81,5% do total da produção mundial que, em 2020, foi em torno de 1,35 milhões de toneladas O país ainda é o maior consumidor dos produtos derivados do caju, como cajuínas, sucos e doces (BRAINER, 2022). A Figura 2 mostra a diversidade de produtos que se pode obter do caju, evidenciando seu potencial dentro da indústria.

Figura 2 – Principais produtos obtidos a partir do caju (castanha e pedúnculo).



Fonte: PAIVA *et al*, 2000.

3.2 Aproveitamento do pedúnculo do caju

O aproveitamento industrial do pedúnculo do caju é bem menor em comparação ao da castanha, mesmo representando 90% do peso do fruto. Apenas 12% dos pedúnculos produzidos são reaproveitados na indústria, sendo principalmente utilizado de forma *in natura* ou no processamento de sucos e polpas de caju (PAIVA *et al*, 2000). O baixo aproveitamento do pedúnculo se dá ao fato de ele ser muito perecível e suscetível a ataques de microrganismo, tendo sua vida útil em no máximo 48 horas após sua colheita, se mantido em temperatura ambiente (SILVA NETO, 2000). Mesmo com alta perecibilidade, o pedúnculo do caju se destaca por apresentar interessantes características nutricionais, como açúcares, fibras, minerais e compostos fenólicos em sua composição, além de ser rico em vitamina C. Na tabela 1 temos a composição nutricional do pedúnculo do caju.

Tabela 1 – Composição nutricional do pedúnculo do caju.

Componente	g/100g do pedúnculo
Água	88g
Proteína	1g
Carboidrato	10,3g
Fibras Totais	1,7g
Lipídios	0,3g
Cinzas	0,3g
Vitamina C	0,26g
Potássio	0,028g
Magnésio	0,01g

Fonte: SOUSA, 2021.

Com relação a sua composição química, o pedúnculo de caju é um fruto ácido, com pH em torno de 4,2 e acidez de 0,35%. Ele também apresenta pequena porcentagem de taninos, compostos fenólicos que se complexam com outras moléculas, como proteínas, causando turbidez e adstringência, característica presente no pedúnculo *in natura* (DE ANDRADE, 2015). A tabela 2 mostra a composição química média do pedúnculo de caju, tendo em vista que tal composição pode se alterar de acordo com o clima, região produtora, clone, dentre outros fatores (PAIVA *et al*, 2000).

Tabela 2 – Composição físico-química do pedúnculo do caju.

Componente	quantidade no pedúnculo
Umidade (%)	86
Brix	11
pH	4,2
Açúcares totais (%)	8,4
Acidez total (%)	0,36
Taninos	0,35

Fonte: PAIVA *et al*, 2000.

Devido a sua perecibilidade quando comercializado *in natura*, sua forma de aproveitamento na indústria utiliza diferentes métodos de conservação, como o uso da refrigeração e congelamento, produzindo polpas congeladas, o uso do açúcar, produzindo doces, compotas e geleias, o uso do calor, produzindo suco em pó e produtos desidratados e a utilização de microrganismo, fermentando o suco do caju e produzindo diversas bebidas fermentadas com características sensoriais distintas, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Principais produtos obtidos a partir do processamento do pedúnculo de caju.



Fonte: PAIVA *et al*, 2000.

3.2.1 Suco clarificado de caju (SCC)

De acordo com a legislação brasileira, suco de caju clarificado ou cajúna, é uma bebida não fermentada, não concentrada, não diluída, obtida do pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale L.*) por meio de processo tecnológico adequado. O suco clarificado de caju deve seguir a composição mostrada na Tabela 3, além de obedecer às características sensoriais de cor, variando do incolor ao amarelo translúcido e sabor levemente ácido e adstringente (BRASIL, 2018a).

Tabela 3 – Características físico-químicas de acordo com os padrões de identidade e qualidade para o suco clarificado de caju.

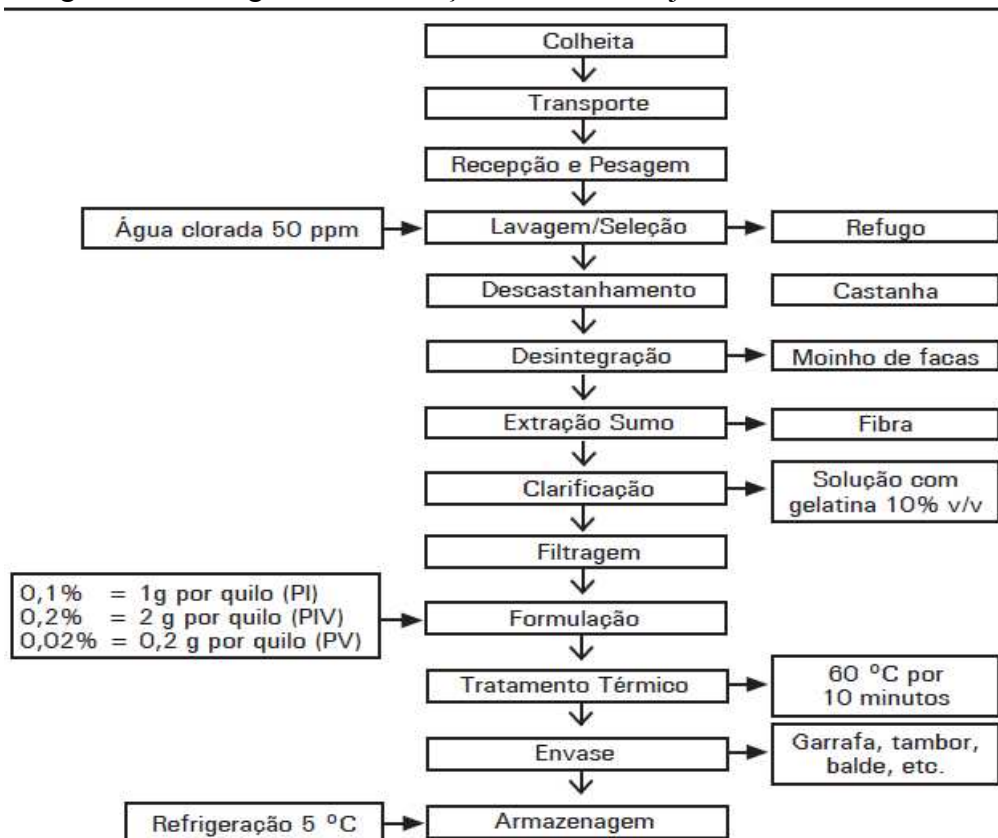
Parâmetros	Mínimo	Máximo
Sólidos solúveis em Brix, a 20°C	10	-
Acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g)	0,18	-
Ácido ascórbico (mg/100mg)	60	-
Açúcares totais naturais do caju (g/100g)	-	15

Fonte: BRASIL, 2018a.

Para sua produção, o suco integral do caju passa por um processo de clarificação, que pode ser pelo método de floculação, utilizando gelatina comercial, sendo mais barato e de fácil aplicação, e por meio de separação por membranas, método alternativo que vem sendo estudado para substituir o método convencional.

A Figura 4 mostra o fluxograma de obtenção do suco de caju clarificado. Na etapa de colheita, o caju deve ser colhido no tempo de maturação ideal, pois ele é um fruto não climatérico, não amadurecendo após a abscisão da planta-mãe. Portanto, as características sensoriais de cor, aroma e firmeza do fruto devem ser levadas em consideração no momento da colheita. Após esta etapa, os cajus são transportados até a indústria de processamento e são pesados, para se obter o rendimento do produto final, selecionados, lavados e higienizados de forma a eliminar sujidades e frutas podres ou não ideais para o processamento. Após a retirada da castanha, o pedúnculo segue para a etapa de desintegração, que visa dilacerar o pedúnculo através de um triturador sem cortar transversalmente suas fibras. A extração do suco ocorre por meio da prensagem, em prensas do tipo “expeller”, com um rendimento em torno de 70% (PAIVA *et al*, 2000).

Figura 4 – Fluxograma de obtenção do suco de caju clarificado.



Fonte: PAIVA (2010).

A clarificação do suco ocorre utilizando gelatina comercial de grau alimentício, pois é eficaz e de baixo custo, sendo obtida a partir da purificação do colágeno da pele bovina. Esta deve ser adicionada em forma de solução aquosa com um teor de 10%, variando de acordo com a quantidade de taninos presentes no lote de suco de caju. Ela deve ser adicionada de forma vagarosa e com agitação constante a uma temperatura em torno de 50-60°C, para que a gelatina se solubilize melhor no suco e para que os primeiros flocos apareçam. Em seguida, o suco deve ficar em repouso para que os flocos sedimentem, e possam ser retirados posteriormente por meio da filtração, obtendo um suco límpido e com baixo teor de taninos e

O principal objetivo da etapa de clarificação é a eliminação dos taninos, compostos capazes de se ligar com proteínas, celuloses e pectinas e formar complexos insolúveis (DE ANDRADE, 2015), contribuindo para a adstringência característica do fruto. Além disso, há também a remoção de sólidos insolúveis responsáveis pela turbidez, tornando o suco bem límpido (Figura 5).

Na etapa seguinte, o suco passa pela para a formulação, onde são adicionados conservantes que são capazes de aumentar a vida útil do produto. Logo após, o suco segue para o tratamento térmico, que ocorre no suco já engarrafado, com as garrafas sendo imersas em tanques contendo água fervente para ocorrer a estabilização do produto. Por fim, o suco é resfriado, de modo a não causar choque térmico, até temperatura ambiente, seguindo para a rotulagem e armazenamento, devendo ser mantido entre 0 e 5°C para aumentar sua vida útil (PAIVA *et al*, 2000).

Figura 5 – Suco de caju clarificado.



Fonte: PAIVA (2010).

Diversos fatores podem influenciar no processo fermentativo, principalmente com relação ao crescimento da levedura, de maneira direta ou indireta, e com a taxa de conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol e metabólitos. Entre os principais fatores que podem afetar a fermentação alcoólica estão a composição do meio, a temperatura de processo, o pH do meio, a concentração de inóculo adicionada, entre outros (CRUZ, 2019).

O caju, por possuir boa quantidade de açúcares em sua composição, apresenta-se uma matéria-prima interessante para o processo fermentativo (COSTA, 2017). Fernandes *et al* (2021) buscou o aproveitamento do pedúnculo de caju para a produção de fermentado alcoólico, conseguindo obter interessantes resultados de teor alcoólico, com teor final de 7,10% após sete horas de fermentação, em um mosto com teor de açúcares corrigido para 12°Brix, e também obtendo teor de sólidos solúveis totais final de 5,00 °Brix.

3.4 *Saccharomyces cerevisiae*

A *S. cerevisiae* é uma levedura unicelular, eucariótica, não patogênica e possui 5 µm de diâmetro. Suas colônias são brancas, lisa e com aspecto cremoso, com bordas arredondadas e uniformes (MENDONÇA *et al*, 2023). Sua importância dentro dos processos alimentares se deve ao fato de produzir etanol e CO₂ a partir da fermentação de açúcares simples, como a glicose (TEIXEIRA, 2015; WIESIOLER, 2007). Sua eficácia de conversão de açúcares em etanol a velocidade de conversão faz a *S. cerevisiae* o microrganismo mais utilizado nos processos industriais, além de possuir tolerância alcoólica elevada (COSTA, 2017). A *S. cerevisiae* também possui a capacidade de utilizar os açúcares fermentescíveis e transformá-los em etanol em aerobiose, obtendo alto rendimento, quando o processo é realizado de forma otimizada (COSTA, 2017).

Durante seu metabolismo aeróbio, a *S. cerevisiae* é capaz de fermentar os açúcares presentes no meio e converter em biomassa, CO₂ e água, além de etanol. Já em condições anaeróbias, há a conversão em etanol e CO₂ (DO SANTOS *et al*, 2010).

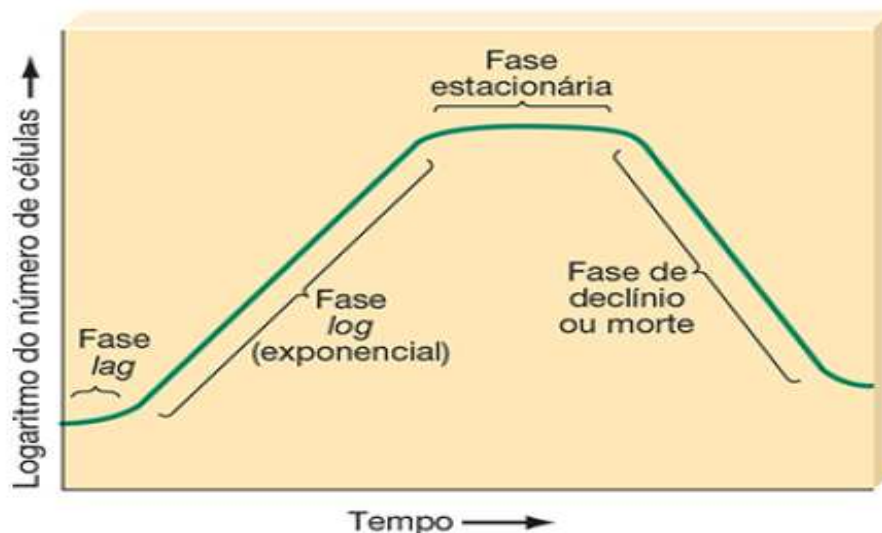
A *S. cerevisiae* possui temperatura ótima de crescimento entre 25-30°C, podendo crescer a 37°C, com temperatura máxima de 45,4°C (TEIXEIRA, 2015; RIBEIRO *et al*, 2018; TORIJA, 2003; CAVALHEIRO, 2013). O pH mais ácido é preferível para o crescimento de leveduras, sendo o ideal para o processo fermentativo um pH entre 4-5 (AMARAL, 2009)

3.5 Crescimento Microbiano

O estudo da curva de crescimento microbiano é de interesse na produção de bebidas fermentadas em escala industrial pois muitos produtos necessitam que o microrganismo esteja em fase exponencial e com concentração de células viáveis em nível máximo para apresentarem seus benefícios, como os probióticos. Durante a fermentação alcoólica, os produtos de interesse, como o etanol, têm sua produção maximizadas durante a fase de maior concentração celular, portanto a falta de conhecimento da curva de crescimento do microrganismo trabalhado pode acarretar problemas nos processos fermentativos, já que para fermentar determinado produto, é preciso de células viáveis e com o metabolismo ativo para o microrganismo realizar o processo corretamente e, com isso, produzir os metabólitos de interesse de forma efetiva.

Os microrganismos, quando são introduzidos em um meio de cultivo rico em nutrientes, eles se adaptam e começam a crescer e se proliferar. Durante seu crescimento, o microrganismo passa por quatro fases, seguindo uma curva característica, mostrada na Figura 7. Essa curva de crescimento pode ser dividida em quatro etapas: Fase *lag*, fase logarítmica (fase *log*), fase estacionária e fase de morte ou declínio.

Figura 7 – Curva de crescimento microbiano.



Fonte: BLACK e BLACK (2021).

Na fase *lag*, os microrganismos começam a se adaptar no meio de cultivo, quase não havendo divisão celular, porém o metabolismo está ativo e as células aumentam de

tamanho, com os nutrientes do meio sendo utilizados para síntese enzimática e compostos de interesse. Na fase *log*, o microrganismo se multiplica e cresce em número de maneira regular e constante. A velocidade de multiplicação é máxima nessa fase e o microrganismo cresce em uma taxa exponencial, com sua população atingindo seu valor máximo no final da fase logarítmica. É geralmente nessa etapa onde se encontra a maior quantidade de células viáveis de um microrganismo, importante para diversos processos fermentativos, além de possuir maior produção de metabólitos de interesse, como no caso do etanol durante a fermentação alcoólica.

A fase estacionária acontece quando os nutrientes já estão ficando escassos e produtos secundários tóxicos em grande quantidade para os microrganismos estão sendo produzidos, com isso, a velocidade de multiplicação diminui e a velocidade de morte celular aumenta, ocasionando um equilíbrio entre produção de células novas e morte de células antigas. O número de bactérias aparece constante na curva devido a esse equilíbrio entre crescimento e morte celular. A fase de declínio ou morte celular ocorre quando os nutrientes já estão escassos e as condições do meio não favorece o crescimento do microrganismo, marcando uma diminuição de células viáveis e morte celular, seguindo um declínio exponencial (BLACK e BLACK, 2021; TRABULSI, 2015).

3.6 Efeitos da agitação no processo fermentativo

Por se tratar de um microrganismo anaeróbio facultativo, as leveduras precisam de uma certa quantidade de oxigênio no meio para poder continuar seu crescimento e dar continuidade no processo fermentativo, sendo importante para a produção de biomassa e dos metabólitos principais (SCHMIDELL, 2001a). Os meios também são agitados para proporcionar não somente oxigênio, mas também permitir que o microrganismo tenha acesso, de maneira mais homogênea, aos nutrientes presentes no meio. Industrialmente, a aeração durante a fermentação alcoólica ocorre por meio de agitação por pás, que fornecem agitação no meio, e também por dissolução de oxigênio por meio do borbulhamento (SCHMIDELL, 2001a). Durante o processo fermentativo, a presença de agitação no meio permite que parte dos açúcares seja convertida em biomassa, água e CO₂ (OLIVEIRA, 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

O suco de caju clarificado utilizado para os experimentos foi adquirido em um supermercado da região de Fortaleza-CE. Para fermentar o suco, foi utilizado o fermento biológico seco instantâneo da marca Dr. Oetker[®], contendo a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Os experimentos ocorreram no laboratório de tecnologia da biomassa, localizado na EMBRAPA Agroindústria Tropical, em Fortaleza-CE.

4.2 Métodos

4.2.1 *Preparo do mosto*

Foi realizada a correção do teor de sólidos solúveis do suco com adição de sacarose para 12 °Brix, pois uma maior quantidade de açúcares no meio permite uma maior produção de etanol, biomassa e metabólitos (CASIMIRO *et al*, 2000). O suco também teve seu pH corrigido para 5,0 com adição de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5%, oferecendo uma condição limitante para o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis no meio (FERNANDES *et al* 2021).

Logo após, houve a adição de nutrientes ao suco visando a suplementação do meio para melhor atender as necessidades do microrganismo trabalhado. Com isso, foi adicionado 0,6g de fosfato de potássio (K_3PO_4), 0,2g de peptona de caseína e 0,3g de metabissulfito de potássio ($K_2S_2O_5$) (COSTA, 2017). A concentração de cada nutriente adicionado é válida para cada um litro de suco.

4.2.2 *Fermentação Alcoólica*

A levedura *S. cerevisiae* foi inoculada na concentração de 10 g/L. Foram testadas duas condições experimentais para o estudo. Na condição 1, o suco foi adicionado no volume de 100 ml em frascos Schott de 250 ml previamente esterilizados e a levedura inoculada na concentração citada acima. Os frascos foram tampados não rosqueando completamente e incubados em cultivo estático, visando criar um ambiente microaerófilo. Na segunda condição, o suco foi adicionado no volume de 100 ml em Erlenmeyer de 250 ml previamente

esterilizados. Foi utilizada a mesma concentração inicial de inóculo e o cultivo foi agitado, com rotação de 150 rpm (PINHEIRO, 2011; CRUZ, 2019). Ambas as condições tiveram sua temperatura mantida a 30 °C e permaneceram fermentando por 48 horas, retirando uma amostra para ser avaliada após as primeiras 24h de fermentação. Para avaliar o efeito das duas condições no fermentado de caju, foram medidos: teor alcoólico, concentração de biomassa produzida, pH, acidez e quantidade de açúcares. Para avaliar a quantidade de biomassa produzida, primeiro foi realizado um experimento para determinar a curva padrão de crescimento da *S. cerevisiae*.

4.2.3 Curva padrão de crescimento

Para avaliar a quantidade de biomassa produzida, primeiro foi realizado um experimento para determinar a curva padrão de crescimento da *S. cerevisiae*. Para isso, foi pesado 1,0g do fermento biológico e reativado em 2,0 ml de solução salina 0,9%. Após esse procedimento, foi realizada diluições seriadas até a concentração 10^{-5} e 0,1ml de cada diluição foi utilizado para realizar o plaqueamento em meio *Yeast Extract Peptone Dextrose Agar* - YPD Agar (composição: Extrato de levedura – 10 g/L; Peptona – 20 g/L; Dextrose – 20 g/L; Agar – 15 g/L) pelo método do spread plate. As placas foram incubadas a 30 °C por 48h (MENDONÇA *et al*, 2023). Após o crescimento em placa, as colônias características foram transferidas para tubos contendo o meio YPD Agar inclinado e os tubos foram incubados por 48-h a 30°C.

Para o preparo da curva, a biomassa presente no tubo foi transferida para 50 ml de meio YPD com o auxílio de uma alça de inoculação. O meio inoculado foi incubado a 30 °C por 16h com agitação de 150 rpm. Após o período de incubação, foi transferido 20 ml de caldo fermentado e centrifugado a 4000 rpm por 15 minutos. Foi realizada duas lavagens da biomassa com água destilada estéril e, para retirar todo resquício de meio de modo a não atrapalhar na leitura em espectrofotômetro. Por último, a biomassa foi ressuspensa em 20 ml de água destilada, preparando uma solução concentrada. Dessa solução, foram realizadas diluições de 5 ml, 8 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml, 25 ml, 30 ml e 50 ml. A absorbância dessas diluições foi lida em espectrofotômetro da marca SHIMADZU, no comprimento de onda a 600nm (SALARI, 2017).

Para descobrir a concentração de biomassa seca, foi retirado 2 ml da solução concentrada para posterior secagem em estufa a 105 °C por 24h. A partir da diferença entre

massa pesada após o tempo de secagem e o peso inicial do cadinho, foi utilizada a equação abaixo para descobrir a concentração de biomassa seca em g/L.

Equação 1 – Cálculo para concentração de biomassa em g/L.

$$[\text{Biomassa seca}] = \frac{\text{Biomassa seca (g)}}{0,002 \text{ (L)}}$$

A curva foi preparada após reunir todos os resultados e ela se encontra no Anexo A do documento em questão.

4.2.4 Teor alcoólico

Para a medição do teor alcoólico do fermentado, foi utilizada a metodologia descrita nas normas do Instituto Adolfo Lutz (2008), com a amostra sendo destilada em rotaevaporador e o teor alcoólico sendo obtido através da relação entre o teor de álcool da amostra e a densidade relativa medida através de um picnômetro a 20°C.

4.2.5 pH e acidez titulável

O pH da amostra foi medido através da leitura direta em potenciômetro digital, com leituras das amostras em triplicata, de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

A acidez titulável foi medida através do método titulométrico, utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M, de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foi pipetado 1 mL de cada amostra de suco e transferido para um frasco Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL de água. Foi adicionado 3 gotas da solução fenolftaleína e a amostra foi titulada com solução de NaOH 0,1 M, até obter coloração rósea constante. Para o cálculo da acidez, foi utilizada a equação 2.

Equação 2 – Cálculo para acidez titulável em alimentos.

$$\frac{V * f * 100}{P * c} = \text{acidez em solução molar \%v/m}$$

Em que,

V = volume de solução de NaOH gasto na titulação (mL).

f = fator da solução de NaOH.

P = peso ou volume da amostra utilizada (mL).

c = correção para a solução de NaOH, sendo 10 para soluções com 0,1M.

4.2.6 Sólidos solúveis

A concentração de sólidos solúveis foi medida através de refratômetro manual digital, adicionando três a quatro gotas do sobrenadante sobre a superfície do equipamento, de acordo com Ribeiro (2019)

4.2.7 Açúcares totais

O conteúdo de açúcares totais foi avaliado pelo método proposto por Dubois *et al* (1956), o método do ácido fenol-sulfúrico, utilizando a sacarose como equivalente (NAPGAL, 2012). A leitura das amostras ocorreu em espectrofotômetro da marca SHIMADZU, com comprimento de onda de 490nm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química do suco de caju clarificado

O suco de caju clarificado utilizado para os experimentos foi analisado e os resultados foram comparados com a literatura e a legislação vigente, com intuito de verificar se o suco está de acordo com as normas de identidade e qualidade do produto trabalhado.

Tabela 4 – Caracterização físico-química do suco de caju clarificado.

Análise	Suco de caju clarificado trabalhado	Parâmetros na literatura
Sólidos solúveis (°Brix)	10,5	≥10
pH	4,32	4,15-4,32 (*)
Acidez total (% em ácido cítrico)	0,24	≥0,18

Fonte: BRASIL (2018a) e (*) DE SOUSA (2018).

De acordo com a Tabela 4, pode-se verificar que o suco em questão está de acordo com os parâmetros encontrados na legislação e na literatura, com sólidos solúveis acima do limite mínimo para suco de caju clarificado, registrando 10,5 °Brix, frente ao limite mínimo de 10 °Brix. O pH do suco trabalhado ficou em torno de 4,32, dentro da faixa encontrada por Sousa (2018) e Soares *et al* (2001) em seus estudos. A acidez do SCC também se encontra dentro dos parâmetros presentes na legislação, que considera o mínimo de 0,18 g/100ml de suco em % de ácido cítrico. A acidez encontrada no presente trabalho foi de 0,24 g/100ml de suco em % de ácido cítrico, sendo uma matéria-prima de boa qualidade e dentro dos padrões exigidos.

5.2 Caracterização físico-química dos fermentados

5.2.1 pH, acidez titulável e teor alcoólico

Para avaliar o efeito da agitação na fermentação do suco de caju clarificado, foram retiradas amostras após dois intervalos de tempo diferentes, uma amostra retirada após 24h de fermentação e a segunda após 48h de fermentação, sendo o final do processo fermentativo. Com relação ao pH, acidez e teor alcoólico do fermentado, a Tabela 5 nos mostra os

resultados após os dois tempos de fermentação e nas diferentes condições estudadas, sendo o cultivo estático e o agitado.

Tabela 5 – Análise do pH, acidez e teor alcoólico do fermentado de caju após 24 e 48h de fermentação.

Amostra	pH	Acidez		Teor Alcoólico (%v/v)
		(%m/v)	(%em ácido acético)	
Agitado 24h	4,50±0,03	0,77±0,07	0,47±0,03	6,7
Agitado 48h	4,35±0,03	1,10±0,11	0,66±0,07	7,1
Estático 24h	4,59±0,02	0,55±0,05	0,33±0,03	5,6
Estático 48h	4,67±0,05	0,45±0,05	0,27±0,03	6,4

Fonte: Autor.

Os valores de pH nas amostras em cultivo agitado após 24 e 48h de fermentação foram de 4,50 e 4,35, respectivamente. Em cultivo estático, o pH atingiu os valores de 4,59 e 4,67 após 24 e 48h, respectivamente. O valor do pH tende a diminuir com o decorrer do processo fermentativo devido a produção de ácidos pela levedura. O pH em sistema estático teve um pequeno após 48h de fermentação, podendo ser explicado pelo efeito pós-acidificação da levedura, equilibrando a quantidade de ácidos produzidos durante o processo fermentativo com o teor de açúcares consumidos (FERNANDES, 2021). O pH do presente trabalho apresentou valores similares ao encontrado por Costa (2017), que obteve um pH após processo fermentativo de 4,6 após 12h de fermentação do suco clarificado de caju a 30°C com sistema de agitação magnética, e por Neves (2018), que obteve um pH de 4,2 após 64h de fermentação do suco clarificado de caju sem agitação. Schmidell (2001b) considera valores de pH entre 4,0-5,0 adequados para início de fermentação, finalizando com valores entre 3,0-4,0, com o pH final das amostras não atingindo valores tão baixos. Correlacionado o pH com os valores de acidez, pode-se observar que quanto menor o pH, maior é a acidez das amostras, já que ocorre produção de ácidos orgânicos durante o processo fermentativo, sendo os principais o ácido acético, succínico, pirúvico, entre outros (SCHMIDELL, 2001b), ocasionando assim mudanças no valor de pH. Um pH mais baixo torna-se mais interessante pois reduz a contaminação bacteriana e também aumenta o rendimento na produção de etanol, pois restringe o crescimento da levedura trabalhada (SCHMIDELL, 2001b).

Observando os resultados de acidez, a amostra em cultivo agitado obteve valores de 0,77% m/v e 0,47% de acidez em ácido acético, um dos principais ácidos produzidos durante a fermentação, após 24h de cultivo e atingiu 1,10% m/v e 0,66% de acidez em ácido

acético após 48h. Já em cultivo estático, os valores de acidez obtidos foram de 0,55% e 0,45% em porcentagem m/v e 0,33% e 0,27% de acidez em ácido acético após 24 e 48h de fermentação, respectivamente. A maior acidez obtida entre as condições experimentais avaliadas foi da amostra agitada após 48h de fermentação, com valor de 0,66% em ácido acético, valor próximo ao encontrado por Fernandes *et al* (2021), que obteve 0,60% após 7h de fermentação com mosto de 12°Brix, mostrando uma acidez muito elevada dentro do período de tempo avaliado. Torres Neto (2006) obteve em seus estudos um valor de 0,72 %m/v para acidez em fermentado de caju após 48h de fermentação, valor próximo ao fermentado produzido após 24h de fermentação, com valor de 0,72%.

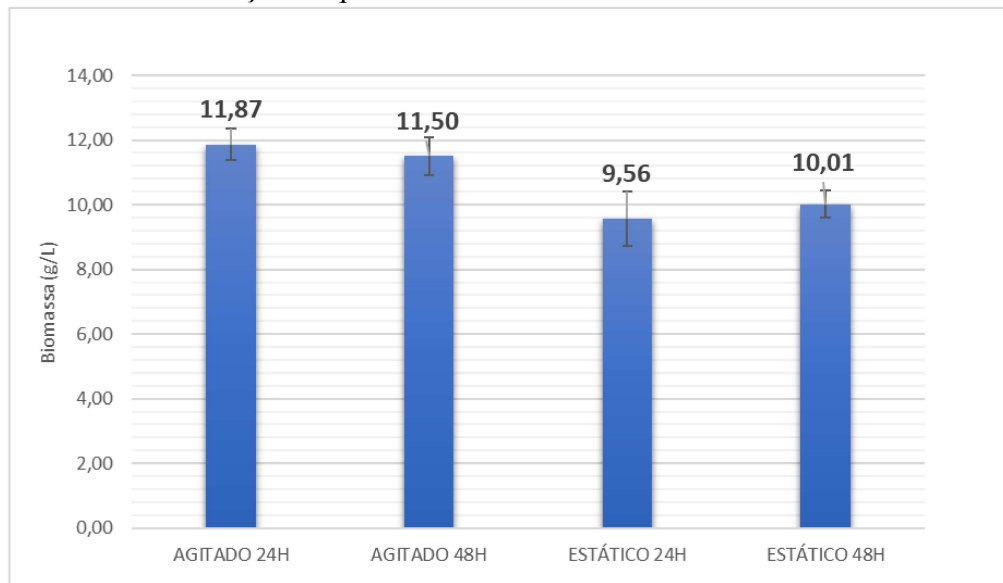
Com relação ao teor alcoólico dos fermentados produzidos, todos estão de acordo com a legislação brasileira vigente, que apresenta para fermentado de fruta um teor de álcool entre 4 e 14% v/v a 20°C (BRASIL, 2009). Em estudos para elaboração de bebida fermentada de caju, Medeiros (2022) obteve um teor alcoólico de 5,43%v/v na produção de espumante de caju em sistema estático, próximo ao obtido em cultivo estático após 24h de fermentação, que foi de 5,6%v/v. Já Torres Neto (2006) atingiu 7,1% v/v no valor de teor alcoólico, igualando ao máximo obtido no experimento em questão em cultivo agitado após 48h de fermentação. O teor alcoólico do presente estudo foi maior em sistema agitado do que em sistema estático, diferindo dos estudos realizados por Mendes (2013), que mostram um aumento na produção de etanol no cultivo não aerado (estático) em comparação ao agitado. Tal produção se deve ao fato de que o processo de respiração celular e manutenção de atividades metabólicas é mais importante e demanda maior energia para as células, resultando numa menor produção de etanol em meios aerados. Porém, um sistema agitado que permite uma aeração adequada durante o processo fermentativo pode permitir uma melhor utilização do substrato e, conseqüentemente, melhor produção de etanol (CRUZ, 2019). O sistema agitado permite também o acesso mais homogêneo aos nutrientes presentes no meio, permitindo a levedura a ter maior disponibilidade para o uso desses nutrientes, produzindo maiores quantidades de produtos e subprodutos, podendo explicar a maior quantidade de álcool produzido em sistema agitado em comparação ao estático.

5.2.2 Produção de biomassa

A presença de altas concentrações de leveduras no meio permite uma maior velocidade de transformação dos açúcares em etanol e uma maior produtividade, além de permitir maior competitividade por nutrientes, controlando melhor a concentração de

microrganismos contaminantes. Essa quantidade não pode ser excessiva para não gerar escassez de nutrientes e, conseqüentemente, diminuir a viabilidade do fermento (SCHMIDELL, 2001b). Os valores de produção de biomassa permitem observar a concentração de inóculo presente no meio durante e após o processo fermentativo. Os valores dessa produção nas diferentes condições experimentais da fermentação do suco clarificado de caju do presente trabalho estão dispostos na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico da produção de biomassa do fermentado de caju nas diferentes condições experimentais.



Fonte: Autor.

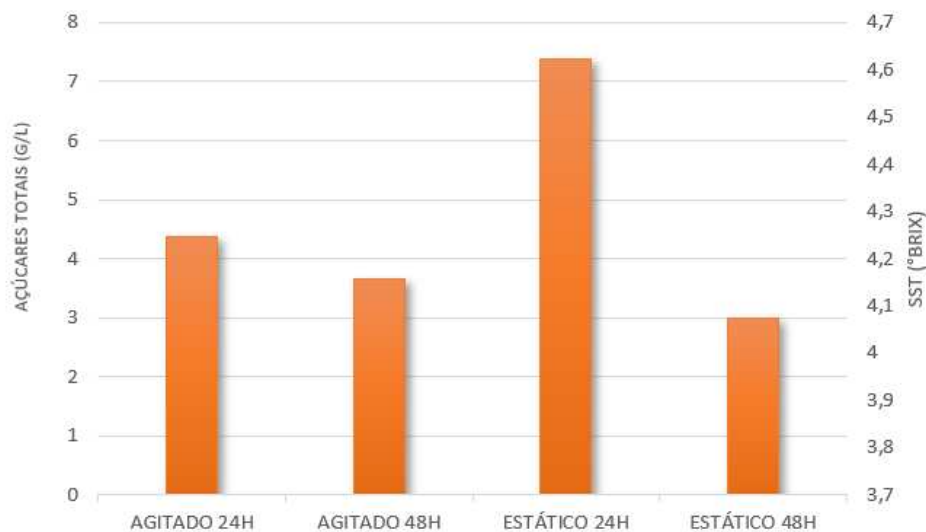
Os valores obtidos em cultivo agitado foram maiores que em cultivo estático, sendo de 11,87 g/L e 11,50 g/L em 24 e 48h de fermentação, respectivamente. Já em cultivo estático, não houve diferença na concentração de biomassa inicial e final, com valores de produção de 9,56g/L e 10,01g/L em 24 e 48h de fermentação. Foi inoculado 10 g/L de fermento biológico logo, houve um aumento de cerca de 14% na produção de biomassa em cultivo agitado após as 48h de fermentação. A aeração permite uma maior produção de energia para a realização das atividades metabólicas celular e maior produção de ATP, que será utilizado pelas células para maior reprodução celular. No cultivo estático há uma menor produção de ATP, resultando numa diminuição do crescimento celular e, conseqüentemente, no valor de biomassa produzida (CRUZ, 2019), levando a uma maior produção de produtos e subprodutos da fermentação, como álcool e ácidos. Há uma queda de produção de biomassa ao final do tempo de fermentação quando há pouco substrato para ser consumido, podendo ser um dos motivos da constante concentração em cultivo estático e da pequena queda do valor de

biomassa produzida em cultivo agitado. Nos estudos de Pinheiro (2011) verificou-se a influência das condições operacionais na fermentação alcoólica de suco de caju, em que é mostrado um aumento de quase o dobro na produção de biomassa a 30°C e 150 rpm, mesmas condições de fermentação do presente trabalho, mostrando resultados de concentração de biomassa bem superiores aos obtidos.

5.2.3 Açúcares Totais e Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os valores de consumo de açúcares e SST estão representados na Figura 9. Podemos observar que há uma queda no teor de sólidos solúveis e na quantidade de açúcares totais após as 48h de cultivo, tanto em condição estática quanto em condição agitada, podendo indicar que os açúcares presentes no meio foram consumidos durante a fermentação e foram utilizados para manter as leveduras ativas e para produção de produtos, como álcoois, CO₂ e ácidos orgânicos.

Figura 9 – Gráfico do consumo de açúcares totais e teor de sólidos solúveis totais (SST) do fermentado de caju nas diferentes condições experimentais.



Fonte: Autor.

Os valores de sólidos solúveis totais obtidos neste estudo foram de 4,42 e 4,00 °Brix em cultivo agitado, e 4,60 e 4,32 °Brix para cultivo estático após 24 e 48h de fermentação, respectivamente. Estudos realizados por Costa (2017) encontraram valores de

sólidos solúveis em torno de 4,0 °Brix no pós-fermentação, valores próximos aos observados após as 48h de fermentação no cultivo estático e agitado. Já Torres Neto (2006) obteve um valor de 3,6 °Brix para o fermentado de caju após 64h de fermentação, um valor abaixo do que foi visto tanto em cultivo estático quanto agitado, podendo ser explicado por meio do tempo de fermentação maior, em que os microrganismos continuam consumindo os açúcares e, em consequência, reduzindo o teor de SST. Os açúcares presentes no meio são utilizados principalmente na produção de biomassa e produtos, com seu teor diminuindo à medida que o tempo de fermentação vai aumentando, o que vai de acordo com os resultados obtidos nos estudos experimentais.

Com relação ao teor de açúcares totais, pode-se observar um decréscimo na sua quantidade em ambas as condições, com redução de 4,63 g/L em 24h para 3,65 g/L em 48h no cultivo agitado, com redução de 16% dentro desse período de tempo. Em cultivo estático obteve-se uma redução de 7,39 g/L para 3,0 g/L, cerca de 59% de redução entre 24 e 48h de cultivo. A maior homogeneidade de nutrientes disponíveis em condição agitada permite que a levedura consuma mais rapidamente os açúcares presentes no meio nas primeiras horas do processo, diferentemente do que ocorre em cultivo estático, onde a levedura não possui tal acesso, reiterando os resultados encontrados após 24h de fermentação. Em seus estudos, Neves (2018) obteve um valor final de 1,64 g/L de açúcares após 64h de fermentação, uma redução em torno de 90% quando considerado o início do processo.

De acordo com a legislação vigente, a agitação do meio influenciou na classificação do fermentado alcoólico elaborado deste trabalho, com ambos os fermentados estando dentro dos padrões exigidos pela legislação. O fermentado produzido em sistema agitado é classificado como “Doce ou Suave”, pois sua quantidade de açúcares final é maior que 3,0 g/L. Já o fermentado produzido em sistema estático é classificado como “Seco”, tendo em vista que o teor de açúcares final é igual ou menor que 3,0 g/L (BRASIL, 2022).

6 CONCLUSÃO

Após todas as análises realizadas durante o presente estudo, é possível concluir que a agitação influenciou na fermentação do suco de caju clarificado, sendo favorável na produção do fermentado, provocando mudanças na sua característica físico-química, principalmente na produção de álcool e no consumo de açúcares. O fermentado produzido em sistema agitado possui maior teor alcoólico que em sistema estático, com ambos dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira, com teor de 7,1% e 6,4%, respectivamente. Os valores de pH e acidez final em cultivo agitado diferem pouco quando comparados com a literatura, mas com pH mais alto do que o esperado em ambas as formas de cultivo para fermentado alcoólico de caju.

Quanto à produção de biomassa, ambos apresentaram valores próximos com 11,50 g/L e 10,01 g/L de biomassa produzida após 48h nas condições agitada e estática, respectivamente, não apresentando resultados satisfatórios. Com relação ao teor de açúcares final, os fermentados apresentaram valores próximos e acima da literatura, com valores de 3,0 g/L e 3,65 g/L para os fermentados elaborados em cultivo estático e agitado, respectivamente. O fermentado produzido em cultivo estático é classificado como “Seco” e o fermentado produzido em cultivo agitado é considerado “Doce ou Suave” de acordo com a legislação vigente.

O suco de caju clarificado apresentou bom potencial para a produção de fermentado de fruta, sendo viável e apresentando bons resultados de teor alcoólico, acidez e consumo de açúcares. O aproveitamento do suco de caju para a elaboração de fermentado aumenta a diversidade de bebidas no mercado, produzindo produtos alternativos e com características sensoriais distintas, reduz o desperdício de pedúnculo de caju e oferece um destino mercadológico diferenciado para ele, além de valorizar a matéria-prima regional, favorecendo um aumento do mercado interno de caju e produtos derivados no Ceará e no Nordeste.

REFERÊNCIAS

- ALONSO BURITI, Flávia Carolina; ISAY SAAD, Susana Marta. Bactérias do grupo *Lactobacillus casei*: caracterização, viabilidade como probióticos em alimentos e sua importância para a saúde humana. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, v. 57, n. 4, p. 373-380, 2007.
- AMARAL, Flávia Silvério et al. Influência conjunta do pH, temperatura e concentração de sulfito na fermentação alcoólica de mostos de sacarose. 2009.
- ARROYO-LÓPEZ, F. Noé *et al.* Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters of *Saccharomyces cerevisiae*, *S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid. *International journal of food microbiology*, v. 131, n. 2-3, p. 120-127, 2009.
- BARROS, Levi de Moura. **Caju: Características da planta**. Embrapa, 2021. Disponível em: <
<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/caju/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-planta>>. Acesso em: 01 de out. de 2021.
- BLACK, Jacqueline G; BLACK, Laura J. *Microbiologia : fundamentos e perspectivas*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 10 Ed. 2021.
- BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. **Cajucultura**. Fortaleza: BNB, ano 7, n.230, jun. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 6.871 de 04 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, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018, aprova os parâmetros analíticos de suco e polpa de frutas e demais quesitos complementares aos Padrões de Identidade e Qualidade para suco de fruta e polpa de fruta. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 out. 2018, Seção 1, p. 23. 2018a.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Consolidação das normas de bebidas, fermentado acético, vinho e derivados de uva e do vinho: anexos à norma interna. DIPOV nº01/2019 – Cartilhão /Coordenação geral de vinhos e bebidas – Brasília: MAPA/AECS, 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da diretoria colegiada – rdc nº 241, de 26 de julho de 2018. Dispõe sobre os requisitos para comprovação da segurança e dos benefícios à saúde dos probióticos para uso em alimentos. Diário oficial da união Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de jul. 2018b.
- CASIMIRO, Antônio Renato Soares *et al.* Avaliação de leveduras industriais na fermentação de suco de caju. Embrapa Agroindustria Tropical, 2000.

CAVALCANTE, J. M. *et al.* Extração de LCC por prensagem da casca de castanha de caju originária de minifábrica para a obtenção de ácidos anacárdicos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.

CAVALHEIRO, André de Abreu. Análise dos mutantes de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* para melhoria na resistência e produção de etanol. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

COSTA, Beatriz Pereira da. Obtenção de etanol a partir de caju (*Anacardium occidentale* L.). 2017.

CRUZ, Mariana Lopes *et al.* Avaliação de condições operacionais na fermentação alcoólica VHG empregando diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. 2019.

DA SILVA, Paola Coutinho, *et al.* "Identificação de cepas do gênero *Lactobacillus* com potencial probiótico isoladas do trato gastrointestinal de suínos." *Episteme Transversalis* 11.1. 2020.

DE ANDRADE, Tiago Vieira *et al.* Tanino em resíduos e subprodutos alimentares para a alimentação animal. 2015.

DE OLIVEIRA, Nayara Aline Muniz. Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. 2011.

DE SOUSA, Ana Virgínia Brandão *et al.* Determinação do teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante da cajuína e do mel produzidos no Estado do Piauí-Brasil. *Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente*, v. 6, n. 2, p. 21-32, 2018.

DOS SANTOS, Julliana Ribeiro Alves; GUSMÃO, N. B.; GOUVEIA, Ester Ribeiro. Seleção de linhagem industrial de *Saccharomyces cerevisiae* com potencial desempenho para produção de etanol em condições adversas de temperatura e de agitação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2010.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Cajueiro. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA. 2001.

ETCHEPARE, Mariana de Araújo *et al.* Desenvolvimento, caracterização e estudo da viabilidade de micropartículas contendo *Lactobacillus acidophilus* La-14 obtidas por gelificação iônica externa associadas às interações eletrostáticas. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

FERNANDES, Aline Elvina Rodrigues *et al.* Fermentados alcoólicos de caju: desenvolvimento e cinética de fermentação. *Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA*, v. 22, n. 1, 2021.

FORSYTHE, Stephen J. *Microbiologia da segurança dos alimentos*. 2.ed. PORTO ALEGRE: Artmed, 2013.

GAZZOLA, Jussara, *et al.* "A amêndoa da castanha-de-caju: composição e importância dos ácidos graxos-produção e comércio mundiais." In.: CONGRESSO DA SOCIEDDE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 14., 2006, Fortaleza., 2006.

HOLT, J. G.; KRIEG, P. H. A. Bergey's manual of determinative bacteriology. 9th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 787 p. 1994.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

MALDONADE, Iriani R.; DE CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, Nathalie A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. 2013.

MEDEIROS, Alberto Augusto Bezerra de. Elaboração de bebida fermentada de caju (*anacardium occidentale* L.) como alternativa para a redução do desperdício do pseudofruto na região nordeste do Brasil. 2022.

MENDES, Tiago Antônio de Oliveira *et al.* Aumento na produção de biomassa de levedura em propagador aerado por processo descontínuo e semicontínuo para produção de cachaça. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 16, p. 81-89, 2013.

MENDONÇA, Henrique De Oliveira Prata *et al.* Caracterização de colônias de cepas comerciais de *saccharomyces cerevisiae* em meio de cultura ágar sabouraud dextrose. *Open science research xi*, v. 11, n. 1, p. 212-220, 2023.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, Washington, US, v. 31, n. 3, p. 426- 428, Mar. 1959;

NAGPAL, Ravinder; KUMAR, Ashwani; KUMAR, Manoj. Fortification and fermentation of fruit juices with probiotic lactobacilli. *Annals of microbiology*, v. 62, p. 1573-1578, 2012.

NELSON, David L; MICHAEL, M. Cox. Princípios de bioquímica de Lehninger [recurso eletrônico]. 6. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre, Artmed, 2014.

NEVES, Waleskha Benevenuto Pinto. Produção, caracterização físico-química e análise sensorial de fermentados de caju desenvolvidos por técnicas distintas. 2018.

NICOLAU, Paula Bacelar. *Microrganismos e crescimento microbiano*. 2014.

OLIVEIRA, Alessandra Cristina. Viabilidade de '*Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium lactis*', microencapsulados por coacervação, seguida de secagem por 'spray drying' e leite de jorro. Diss. Universidade de São Paulo, 2006.

PAIVA, F.F. de A.; GARRUTI, D. dos S.; SILVA NETO, R.M. da. Aproveitamento Industrial do caju. Fortaleza: Embrapa-CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 88p. (Embrapa-CNPAT. Documentos, 38). 2000.

PAIVA, FF de A. *et al.* *Processamento de castanha de caju*. 2006.

PAIVA, FF de A. Processamento do pedúnculo de caju: suco de caju clarificado. 2010.

PAGANE GUERESCHI ERNANDES, Fernanda Maria; GARCIA-CRUZ, Crispin Humberto. *Zymomonas mobilis*: um microrganismo promissor para a fermentação alcoólica. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 361-380, 2009.

PINHEIRO, Álvaro Daniel Teles. Fermentação alcoólica do suco de caju (*anacardium occidentale* L.): influencia de condições operacionais. 2011.

RIBEIRO, Bernardo Dias *et al.* Microbiologia industrial: Alimentos. 1. ed. Rio de Janeiro – Elsevier, v 2. 2018.

Ribeiro, Ellane Sabryna Sena. Elaboração e caracterização de bebida probiótica a partir de suco de cajá fermentado com *Lactobacillus acidophilus* NRRL B-4495. MS thesis. Brasil, 2019.

SAAD, Susana Marta Isay. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 42, p. 1-16, 2006.

SALARI, Roshanak; SALARI, Rosita. Investigation of the best *Saccharomyces cerevisiae* growth condition. *Electronic physician*, v. 9, n. 1, p. 3592, 2017.

SANTOS, Ana Thaís Vasconcelos; CAVALCANTE, Jorge Luís Pereira. A fatura do desperdício. *Equatorial–Revista do Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social*, v. 9, n. 16, p. 1-12, 2022.

SCHMIDELL, W. LIMA, U. A. AQUARONE, E. BORZANI, W. *Biotecnologia industrial: volume 2: engenharia bioquímica*. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo-SP, 2001a.

SCHMIDELL, W. LIMA, U. A. AQUARONE, E. BORZANI, W. *Biotecnologia industrial: volume 3: Processos fermentativos e enzimáticos*. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo-SP, 2001b.

SCHMITT, Jucelaine Aparecida Deon *et al.* Avaliação do perfil probiótico de cepas de *Lactobacillus acidophilus* destinados a aplicações farmacêuticas e alimentícias. 2014.

SILVA, Isabel Moreira da. Suco de caju contendo oligossacarídeos prébióticos. 2010.

SILVA NETO, R. M. da. Inspeção em indústria de beneficiamento da castanha de caju visando a implantação das boas práticas de fabricação. 2000. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOARES, LILIANA COSTA *et al.* Obtenção de bebida a partir de suco de caju (*Anacardium occidentale*, L.) e extrato de guaraná (*Paullinia cupana sorbilis* Mart. Ducke). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, p. 387-390, 2001.

SOUSA, Thaynna Leocádio Trajano Lacerda *et al.* Aspectos nutricionais do caju e panorama econômico da Cajucultura. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e229101119435-e229101119435, 2021.

TEIXEIRA, Juliana de Freitas. A levedura *Saccharomyces cerevisiae*: caracterização do gênero, domesticação e importância na composição de vinhos. 2015.

TORRES NETO, Alberto B. *et al.* Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.). *Química Nova*, v.29, n.3, 2006.

TORIJA, Ma Jesús *et al.* Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International journal of food microbiology*, v. 80, n. 1, p. 47-53, 2003.

TRABULSI, L. R.; ALTHERTUM, F. *Microbiologia*. Atheneu, São Paulo, 6 ed. 2015.

VEIGA, Luísa Helena Farias Alves. Avaliação de parâmetros de crescimento das leveduras *Kluyveromyces marxianus*, *Kluyveromyces lactis* e *Saccharomyces cerevisiae*. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil, 2022.

WIESIOLER, Carine Carolina. Alterações fisiológicas em *Saccharomyces cerevisiae* submetida a campo eletromagnético estático. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

ANEXO A – CURVA DE CRESCIMENTO *S. cerevisiae*