



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIEL JACOMINI ROCHA LEMOS

**CINÉTICA DE CRESCIMENTO DE LEVEDURAS NATIVAS EM
DIFERENTES FONTES DE CARBONO E TEMPERATURA**

JOÃO PESSOA
2025

GABRIEL JACOMINI ROCHA LEMOS

**CINÉTICA DE CRESCIMENTO DE LEVEDURAS NATIVAS EM
DIFERENTES FONTES DE CARBONO E TEMPERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Sharline
Florentino de Melo Santos

JOÃO PESSOA

2025

Ficha catalográfica

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

L557c Lemos, Gabriel Jacomini Rocha.
Cinética de crescimento de leveduras nativas em
diferentes fontes de carbono e temperatura / Gabriel
Jacomini Rocha Lemos. - João Pessoa, 2025.
38 f. : il.

Orientação: Sharline Santos.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. leveduras nativas. 2. cinética de crescimento. I.
Santos, Sharline. II. Título.

UFPB/CT CDU 54 (043.2)

GABRIEL JACOMINI ROCHA LEMOS

**CINÉTICA DE CRESCIMENTO DE LEVEDURAS NATIVAS EM
DIFERENTES FONTES DE CARBONO E TEMPERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 18.09.2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
SHARLINE FLORENTINO DE MELO SANTOS
Data: 18/09/2025 17:42:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sharline Florentino de Melo Santos
DEQ - CT - UFPB



Documento assinado digitalmente
FLAVIO LUIZ HONORATO DA SILVA
Data: 18/09/2025 18:45:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva
DEQ - CT - UFPB



Documento assinado digitalmente
NORMANDO MENDES RIBEIRO FILHO
Data: 19/09/2025 18:50:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Normando Mendes Ribeiro Filho
DSER - CCA - UFPB

AGRADECIMENTOS

A Agradeço, primeiramente, à minha mãe, por ter me criado com amor, coragem e resiliência, superando todas as dificuldades e sempre me proporcionando o melhor que pôde. Sem ela, eu definitivamente não seria quem sou hoje. Sua força, seu apoio incondicional e sua presença constante desde o início da minha graduação foram essenciais para que eu chegasse até aqui. À minha irmã, agradeço profundamente por ter sido, desde sempre, uma grande inspiração. Seu incentivo contínuo aos estudos e seu exemplo de dedicação e perseverança me motivaram a seguir este caminho com seriedade e determinação.

À minha tia Mariana, sou grato por estar sempre disposta a ajudar, oferecendo apoio nos momentos em que mais precisei. À minha prima Thais, agradeço pela amizade sincera e pelo apoio emocional constante durante os momentos difíceis, sua presença foi um grande conforto. Expresso também minha gratidão aos amigos de curso Rodrigo, João Pedro, Beatriz e Iara. A convivência com vocês foi essencial para tornar a trajetória da graduação mais leve, divertida e, sobretudo, possível.

Em especial, agradeço imensamente ao professor Flávio, por ter me concedido a oportunidade de participar de projetos de iniciação científica, contribuindo de maneira significativa para a formação do meu pensamento crítico e científico. Sua orientação foi essencial para meu crescimento acadêmico. Às técnicas Débora e Fabiana, deixo meu sincero agradecimento pela prontidão em me auxiliar nas atividades laboratoriais, pela paciência e pela agradável convivência durante a realização dos experimentos. Minha mais profunda gratidão à professora Sharline Florentino, por ter sido uma figura tão inspiradora ao longo da minha formação. Sua paixão pela bioengenharia despertou em mim um profundo apreço pela área, e sua gentileza, compreensão e direcionamento, especialmente neste trabalho, foram essenciais para que eu concluísse esta etapa da minha vida.

Agradeço também ao professor Normando, que introduziu os fundamentos do estudo dos microrganismos que vieram a compor esta pesquisa, e por aceitar gentilmente o convite para integrar a banca avaliadora deste trabalho.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a cinética de crescimento de cepas de leveduras nativas isoladas da cana-de-açúcar cultivada na região de Areia-PB, visando sua aplicação em processos fermentativos alcoólicos. Foram avaliadas três cepas: 2506S, 2754S e 3129I em diferentes condições de cultivo, utilizando três fontes de carbono: sacarose, glicose e maltose e três faixas de temperatura 15 °C, 30 °C e 37 °C. Os experimentos foram conduzidos em shaker orbital com temperatura controlada, conforme os parâmetros estabelecidos para os pré-inóculos. Após o período de crescimento, as soluções foram padronizadas para uma concentração de 10^8 UFC/mL e distribuídas em microplacas de 96 poços, sendo mantidas sob as mesmas condições de temperatura. As leituras foram realizadas em leitora de microplacas do tipo ELISA a cada duas horas durante as primeiras 12 horas de cultivo, e posteriormente a cada 12 horas. As análises foram conduzidas por meio da determinação das curvas de crescimento celular, da velocidade específica máxima de crescimento (μ_{max}) e do tempo de geração (t_g). Os resultados demonstraram que a cepa 2506S apresentou o melhor desempenho a 15 °C e 30 °C, com elevados valores de μ_{max} e baixos tempos de geração, indicando alto potencial de crescimento nessas condições. Em contrapartida, temperaturas elevadas (37 °C) resultaram em desempenho reduzido para as cepas 2506S e 2754S, sugerindo sensibilidade térmica. A cepa 3129I, por sua vez, apresentou comportamento mais estável em todas as temperaturas e fontes de carbono testadas. Tais resultados estão em conformidade com a literatura, que aponta a faixa de 30 °C como ótima para o crescimento de *Saccharomyces cerevisiae*, com redução da atividade celular em temperaturas supra-ótimas. A estabilidade térmica e nutricional da cepa 3129I evidencia seu potencial para uso industrial em processos sujeitos a variações operacionais. Além disso, a alta concentração celular obtida ao final da fase exponencial pela cepa 2506S a 15 °C indica sua viabilidade para processos fermentativos em baixas temperaturas. Esses achados reforçam a importância da prospecção de microrganismos autóctones como estratégia para o desenvolvimento de fermentações mais eficientes, robustas e regionalmente adaptadas.

Palavras-chave: leveduras nativas. cinética de crescimento. cachaça. fermentação alcoólica. temperatura de cultivo.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the growth kinetics of native yeast strains isolated from sugarcane cultivated in the region of Areia, Paraíba (Brazil), with a view to their application in alcoholic fermentation processes. Three strains (2506S, 2754S, and 3129I) were selected for evaluation under different cultivation conditions, using three carbon sources (sucrose, glucose, and maltose) and three temperature ranges (15 °C, 30 °C, and 37 °C). The experiments were conducted in an orbital shaker under controlled temperature, according to the parameters established for the pre-inocula. After the growth period, the cultures were standardized to a concentration of 10^8 CFU/mL and distributed into 96-well microplates, maintained under the same temperature conditions. Readings were performed using an ELISA-type microplate reader every two hours during the first 12 hours of cultivation, and subsequently every 12 hours. The analyses were conducted by determining cell growth curves, the maximum specific growth rate (μ_{max}), and the generation time (t_g). The results showed that strain 2506S exhibited the best performance at 15 °C and 30 °C, with high μ_{max} values and short generation times, indicating strong growth potential under these conditions. In contrast, elevated temperatures (37 °C) resulted in reduced performance for strains 2506S and 2754S, suggesting thermal sensitivity. Strain 3129I, in turn, showed more stable behavior across all tested temperatures and carbon sources. These findings are consistent with the literature, which indicates 30 °C as the optimal range for the growth of *Saccharomyces cerevisiae*, with decreased cellular activity at supra-optimal temperatures. The thermal and nutritional stability of strain 3129I highlights its potential for industrial use in processes subject to operational variability. Additionally, the high cell concentration reached by strain 2506S at 15 °C at the end of the exponential phase suggests its feasibility for fermentative processes at lower temperatures. These findings reinforce the importance of prospecting native microorganisms as a strategy for developing more efficient, robust, and regionally adapted fermentations.

Keywords: native yeasts. growth kinetics. cachaça. alcoholic fermentation. cultivation temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular Glicose.....	15
Figura 2 - Estrutura molecular Sacarose.....	15
Figura 3 - Estrutura molecular Maltose	16
Figura 4 - Configuração das microplacas	19
Figura 5 - Crescimento da levedura 2506S no meio sólido.....	21
Figura 6 - Crescimento da levedura 2754S no meio sólido.....	21
Figura 7 - Crescimento da levedura 3129I no meio sólido	22
Figura 8 - Visualização no microscópio da cepa 2506S.....	22
Figura 9 - Visualização no microscópio da cepa 2754S.....	23
Figura 10 - Visualização no microscópio da cepa 3129I.....	23
Figura 11 - Curvas de calibração	24
Figura 12 – Curvas de crescimentoda cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C.....	25
Figura 13 - Curvas de crescimentoda cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 30°C.....	26
Figura 14 - Curvas de crescimentoda cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 37°C.....	26
Figura 15 - Curvas de crescimentoda cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C.....	27
Figura 16 - Curvas de crescimentoda cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 30°C.....	28
Figura 17 - Curvas de crescimentoda cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 37°C.....	28
Figura 18 - Curvas de crescimentoda cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C.....	29
Figura 19 - Curvas de crescimentoda cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 30°C.....	30
Figura 20 - Curvas de crescimentoda cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 37°C.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidades específicas máximas e tempos geracionais experimentais	20
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	HISTÓRIA DAS BEBIDAS ALCOÓLICAS.....	13
3.2	MEIOS DE CULTURA.....	14
3.2.1	Extrato de levedura.....	14
3.2.2	Peptona.....	15
3.2.3	Glicose.....	15
3.2.4	Sacarose.....	15
3.2.5	Maltose.....	16
3.3	CINÉTICA DE CRESCIMENTO.....	16
3.3.1	Velocidade máxima de crescimento.....	16
3.3.2	Tempo de geração.....	17
4	METODOLOGIA.....	18
4.1	MICROORGANISMOS.....	18
4.2	AVALIAÇÃO DE FONTES DE CARBONO E TEMPERATURA.....	18
4.3	CURVA DE CALIBRAÇÃO.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1	LEVEDURAS.....	21
5.2	CURVA DE CALIBRAÇÃO.....	24
5.3	CINÉTICA DE CRESCIMENTO.....	25
5.3.1	Levedura 2506S.....	25
5.3.2	Levedura 2754S.....	27
5.3.3	Levedura 3129I.....	29
5.3.4	Comparativo.....	31
5.4	Velocidade máxima de crescimento celular.....	32
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
7	REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A produção de bebidas alcoólicas desempenha um papel econômico e cultural significativo no Brasil, com a cachaça destacando-se como um símbolo nacional. Segundo o Programa Brasileiro de Desenvolvimento da Aguardente de Cana (PBDAC), a produção ocorre em torno de 1,2 bilhões de litros por ano, sendo que cerca de 75% desse total é representada pela fabricação industrial e 25%, é decorrente da fabricação artesanal. Cerca de 14,8 milhões de litros são exportados, majoritariamente para a Europa (Fonseca, 2018).

No estado da Paraíba, a cachaça artesanal possui forte expressão cultural e econômica. A região é responsável por produzir até 25 milhões de litros por ano, com mais de 100 engenhos ativos, o que gera milhares de empregos diretos e indiretos e movimenta uma cadeia produtiva robusta, aponta a Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEPB). A cidade de Areia, no Brejo paraibano, é reconhecida como a "Capital Paraibana da Cachaça", abrigando dezenas de engenhos e marcas registradas. A bebida é hoje considerada um patrimônio cultural e imaterial estadual, celebrada por meio de iniciativas como o "Dia Estadual da Cachaça Paraibana".

Diante desse panorama, há crescente interesse na seleção de leveduras selvagens provenientes da cana-de-açúcar paraibana, com o objetivo de valorizar características regionais e desenvolver cepas mais adaptadas às condições ambientais locais, potencializando o perfil sensorial e a autenticidade da cachaça artesanal.

O estudo da cinética de crescimento dessas leveduras é fundamental para determinar suas condições ótimas de cultivo, bem como para obter dados relevantes sobre sua viabilidade em aplicações industriais. Esses parâmetros permitem comparar o desempenho das cepas selvagens com aquele apresentado por leveduras comerciais já utilizadas, possibilitando uma avaliação técnica de sua eficiência fermentativa e robustez metabólica frente às exigências de processos produtivos.

No presente estudo, foram avaliadas três cepas de leveduras da cana-de-açúcar cultivada na região de Areia-PB para análise da cinética de crescimento celular, utilizando diferentes fontes de carbono e submetidas a três faixas de temperatura. As cepas foram comparadas entre si com base em suas curvas de crescimento, velocidades específicas máximas de crescimento (μ_{max}) e tempos de geração (t_g).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento de leveduras isoladas do plantio de cana-de-açúcar frente ao consumo de diferentes carboidratos e condições de temperatura visando a produção de bebidas alcoólicas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a cinética de crescimento em meio com sacarose, maltose e glicose;
- Avaliar a cinética de crescimento nas temperaturas de 15°C, 30°C e 37°C;
- Calcular o tempo de geração dos microrganismos em cada condição testada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRIA DAS BEBIDAS ALCOÓLICAS

A fermentação de bebidas alcoólicas remonta a civilizações muito antigas. Vestígios arqueológicos indicam que, há cerca de 9.000 anos, na aldeia neolítica de Jiahu, na província de Henan, norte da China, já se produziam bebidas alcoólicas a partir da fermentação de uvas silvestres. Esses resíduos foram encontrados em jaras de cerâmica, configurando o mais antigo registro conhecido de uma bebida contendo álcool. Posteriormente, o hidromel foi produzido no Egito Antigo, na Grécia, no Império Romano e durante a Idade Média na Europa (KRISTBERGSSON; OLIVEIRA, 2016).

Contudo, apenas após 1857, com as publicações de Louis Pasteur, foi definitivamente aceito que o etanol era um produto do metabolismo de leveduras, sendo obtido por meio da fermentação alcoólica. Esse entendimento científico foi posteriormente consolidado e difundido por diversos autores, como Andrietta, citado por Alves (1996), que descreve a importância dessa descoberta para os processos fermentativos industriais.

A domesticação de leveduras, especialmente do gênero *Saccharomyces*, ocorreu de forma intensiva nos ambientes cervejeiro e vinícola. Cepas utilizadas na produção de cervejas do tipo ale (*S. cerevisiae*) e lager (*S. pastorianus*, um híbrido com *S. eubayanus*) foram selecionadas ao longo dos séculos para se adaptarem a condições específicas, como temperaturas mais baixas e maior eficiência na assimilação de açúcares fermentáveis (GALLONE et al., 2018).

Atualmente, a indústria de bebidas alcoólicas não se limita às leveduras do gênero *Saccharomyces*, empregando também leveduras não-*Saccharomyces* e bactérias lácticas (BASSO et al., 2016). Essa diversidade microbiana tem sido utilizada para conferir maior complexidade sensorial às bebidas, reduzir o teor alcoólico e modular o perfil aromático por meio de reações como a esterificação. No Brasil, pesquisas acadêmicas vêm explorando o uso de fermentações consorciadas, combinando leveduras isoladas da produção de cachaça com bactérias lácticas, a fim de desenvolver bebidas fermentadas com maior equilíbrio sensorial, especialmente no contexto da produção de cervejas artesanais (SILVA, P. 2022).

A cachaça, bebida alcoólica tipicamente brasileira, teve seu início no período colonial, no século XVI, sendo produzida pela primeira vez por volta de 1516, conforme

registros do Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC).

Ao longo do período colonial, a cachaça se popularizou entre os escravizados e as camadas mais pobres da população, sendo utilizada inclusive como moeda de troca e com o passar dos séculos, ganhou popularidade e a cachaça consolidou-se como símbolo cultural do Brasil. Em 2001, obteve o reconhecimento legal como produto com indicação geográfica controlada, recebendo o título de “Cachaça do Brasil”, conforme o Decreto nº 4.062/2001, o que reforçou seu papel como bem cultural e patrimônio nacional.

De acordo com o Anuário da Cachaça 2025, elaborado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) em parceria com o IBRAC, o ano de 2024 registrou um total de 1.266 estabelecimentos produtores, representando um crescimento de 4% em relação a 2023. Esse é o terceiro ano consecutivo de expansão no setor, indicando uma tendência de fortalecimento da produção formalizada e regulamentada da bebida no Brasil (MAPA; IBRAC, 2025).

3.2. MEIOS DE CULTURA

3.2.1. Extrato de levedura

O extrato de levedura é um produto obtido principalmente a partir de leveduras residuais da indústria cervejeira, sendo rico em nucleotídeos, proteínas, aminoácidos e açúcares. Apresenta como principais vantagens o baixo custo de produção e a ampla disponibilidade de matéria-prima. Devido a essas características, os extratos de levedura são amplamente utilizados em diferentes áreas, como aditivos alimentares, suplementos nutricionais, cosméticos e, especialmente, em meios de cultura para fermentações microbianas (YUAN et al., 2023).

Trata-se de um produto altamente complexo, composto principalmente por material da parede celular e pelo conteúdo intracelular. A parede celular é formada predominantemente por polissacarídeos estruturais, como oligossacarídeos de manose e β -glucanas, além de pequenas quantidades de quitina e glicogênio (HAWAJA et al., 2017). Já o conteúdo celular apresenta elevada concentração de aminoácidos essenciais e não essenciais, ribonucleotídeos, minerais, vitaminas, peptídeos e outras substâncias hidrossolúveis, que contribuem para seu valor nutritivo e funcional (CHAE et al., 2001).

3.2.2. Peptona

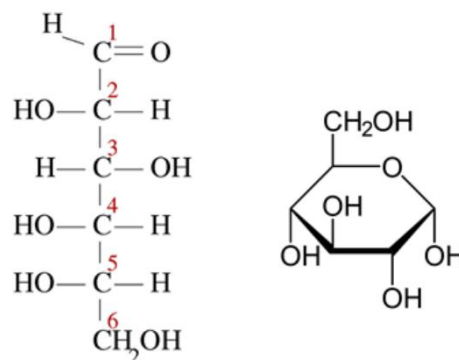
As peptonas são proteínas solúveis em água, particularmente ricas em aminoácidos, que não se desnaturam em altas temperaturas. Elas desempenham um papel fundamental como substratos microbianos, sendo amplamente utilizadas em aplicações biológicas e biotecnológicas para sustentar o crescimento celular e promover o aumento da biomassa (THERMO FISHER).

A maior parte das peptonas comercialmente disponíveis é derivada de fontes animais terrestres, como bovinos e suínos, e de seus subprodutos. Contudo, pesquisas recentes têm buscado fontes alternativas, de origem vegetal ou microbiana, visando à sustentabilidade e à eliminação de riscos associados a patógenos de origem animal.

3.2.3. Glicose

A glicose é um monossacarídeo de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$, amplamente conhecido por ser a principal fonte de energia para a maioria dos organismos vivos.

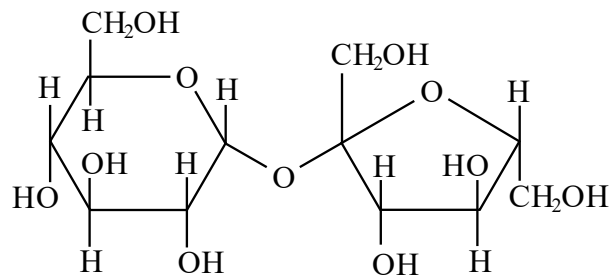
Figura 1 – Estrutura molecular Glicose



Fonte: CHOWDHURY, R. 2014.

3.2.4. Sacarose

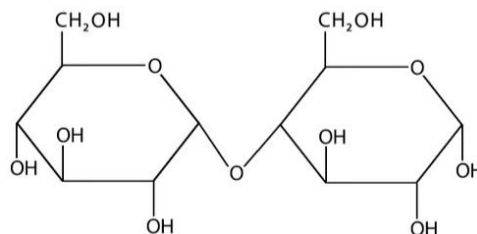
A sacarose é um monossacarídeo, com fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$. É classificada como um açúcar simples, assim como a glicose. A frutose é um açúcar natural, sendo encontrada em frutas, mel, xarope de milho, e em vegetais.

Figura 2 – Estrutura molecular Sacarose

Fonte: AMCHARA, F. Et al. 2018.

3.2.5. Maltose

A maltose é um dissacarídeo formado por dois resíduos de glicose unidos por uma ligação glicosídica. Sua fórmula molecular é $C_{12}H_{22}O_{11}$, e é produzida principalmente pela hidrólise parcial do amido, processo que ocorre durante a digestão de carboidratos ou em reações enzimáticas industriais.

Figura 3 – Estrutura molecular Maltose

Fonte: NITHIYANANTHAM, S. 2014.

3.3. CINÉTICA DE CRESCIMENTO

O estudo da cinética de crescimento tem como objetivo avaliar as velocidades instantâneas e médias de crescimento celular, bem como analisar a influência de diversos parâmetros sobre essas taxas, tais como a fonte de carbono disponível no meio e a temperatura do processo.

3.3.1. Velocidade máxima de crescimento

Durante a fase exponencial de crescimento, a velocidade específica de crescimento celular (μ) é constante e atinge seu valor máximo, ou seja, $\mu = \mu_{max}$. Considerando que a

taxa de crescimento é diretamente proporcional à concentração celular (X), admite-se o uso da Equação X (STROPPA et al., 2009).

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{max} * X \quad (\text{equação 1})$$

Realizando a integral da equação chegamos, encontramos a equação XI para μ_{max} .

$$\int_{X_i}^X \frac{dX}{X} = \int_{t_i}^t \mu_{max} * dt \quad (\text{equação 2 i})$$

$$\mu_{max} = \frac{\ln X - \ln X_i}{t - t_i} \quad (\text{equação 2 ii})$$

3.3.2. Tempo de geração

A fase exponencial de crescimento também é caracterizada pelo tempo de geração (t_g), que representa o tempo necessário para que a concentração celular dobre, ou seja, $X = 2X_i$. Substituindo essa relação na Equação 2 e considerando e considerando $t - t_i = t_g$, obtém-se a Equação 3.

$$t_g = \frac{\ln 2X_i - \ln X_i}{\mu_{max}} \quad (\text{equação 3 i})$$

$$t_g = \frac{\ln 2}{\mu_{max}} \quad (\text{equação 3 ii})$$

A determinação do tempo de geração permite estimar a velocidade com que os microrganismos se multiplicam, sendo um parâmetro importante para a avaliação do desempenho do cultivo microbiano.

4. METODOLOGIA

4.1. MICRORGANISMOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioengenharia do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Foram avaliadas três cepas isoladas da cana-de-açúcar cultivada na região de Areia-PB, fornecidos pelo Professor Dr. Normando Mendes Ribeiro Filho da Universidade Federal da Paraíba, Campus II. Os microrganismos selecionados foram identificados com as siglas 2506S, 2754S e 3129I, sendo mantidos em meio sólido PDA (Potato Dextrose Agar), refrigerados e repicados dentro de um período máximo de dois meses.

4.2. AVALIAÇÃO DAS FONTES DE CARBONO E TEMPERATURA

Os meios de cultura foram preparados com 20 g/L de extrato de levedura e 10 g/L de peptona. A cada um dos três meios foi adicionada uma fonte de carbono diferente, na concentração de 20 g/L: sacarose, maltose ou glicose. Os meios de cultura foram autoclavados por 15 minutos a temperatura de 121°C antes de serem inoculados.

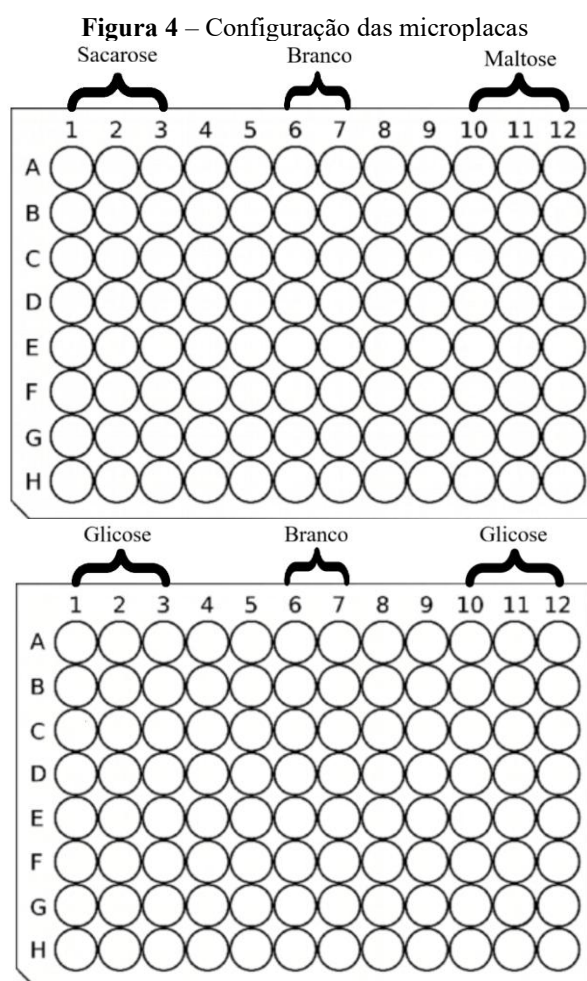
Para o preparo dos pré-inóculos dos microrganismos, utilizaram-se 300 mL dos meios de cultura previamente preparados, acondicionados em frascos Erlenmeyer de 500 mL. Os microrganismos foram transferidos a partir de placas de Petri para os frascos, em condições assépticas, dentro de uma câmara de fluxo laminar previamente esterilizada com luz ultravioleta (UV) por 15 minutos, ao redor da chama de um bico de Bunsen.

Em seguida, os inóculos foram incubados em agitador orbital (150 rpm), nas temperaturas de 15 °C, 30 °C e 37 °C. Após 24 horas de incubação, as culturas foram padronizadas para uma concentração de 10^8 unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). A padronização foi realizada por meio de diluições do pré-inóculo, utilizando a câmara de Neubauer para a contagem celular e assim calcular o volume necessário a ser adicionado ao inóculo para atingir a concentração desejada.

A inoculação das microplacas foi realizada em câmara de fluxo laminar, com a adição do volume de 200 µL/poço, conforme a distribuição dos meios apresentada na Figura 4,

utilizando 24 poços para cada meio. A cinética de crescimento foi monitorada por meio de leituras espectrofotométricas utilizando leitora de microplacas do tipo ELISA.

Após a inoculação, as placas foram mantidas em um compartimento estável da agitadora orbital para controle das temperaturas estabelecidas. As leituras foram realizadas a cada duas horas durante as primeiras 12 horas de incubação e, posteriormente, em intervalos de 12 horas, até que as culturas atingissem a fase estacionária de crescimento.



Fonte: Autor, 2025.

4.3. CURVA DE CALIBRAÇÃO

Foi construída uma curva de calibração relacionando a concentração de células (g/L) com os valores de absorbância no comprimento de onda de 610 nm. Para obtenção dos pontos da curva, os três microrganismos foram inoculados nos diferentes meios de cultura e incubados em agitador orbital (150 rpm) por 24 horas, à temperatura de 30 °C.

Após o período de crescimento, foram coletados 2 mL das culturas e transferidos para tubos de microcentrífuga, os quais foram centrifugados por cinco minutos a 10.000 rpm. O sobrenadante foi descartado, e os tubos foram levados à estufa para secagem por 24 horas. Posteriormente, procedeu-se à pesagem, sendo determinada a massa celular por meio da diferença entre o peso dos tubos secos contendo a biomassa seca e o peso dos tubos vazios.

Para a obtenção dos pontos de leitura de absorbância, a solução-mãe contendo os microrganismos foi diluída nas proporções 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 e 1:64. Essas diluições foram distribuídas nas colunas 1, 3, 5, 7, 9 e 11, respectivamente, de uma microplaca de 96 poços. Em seguida, a placa foi submetida à leitura em espectrofotômetro do tipo ELISA, com detecção a 610 nm.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. LEVEDURAS

Ao analisar as características morfológicas das leveduras nas colônias formadas em placas de Petri, observou-se um crescimento expressivo das cepas 2506S e 2754S, cujas colônias apresentaram textura lisa, elevação convexa e margem lisa. A cepa 3129I, por sua vez, também exibiu colônias com formato circular, textura lisa e elevação convexa, porém com um crescimento menos acentuado em comparação às demais.

Em relação à coloração, as cepas 2506S e 3129I apresentaram coloração branca, enquanto a cepa 2754S apresentou coloração alaranjada.

Figura 5 – Crescimento da levedura 2506S no meio sólido



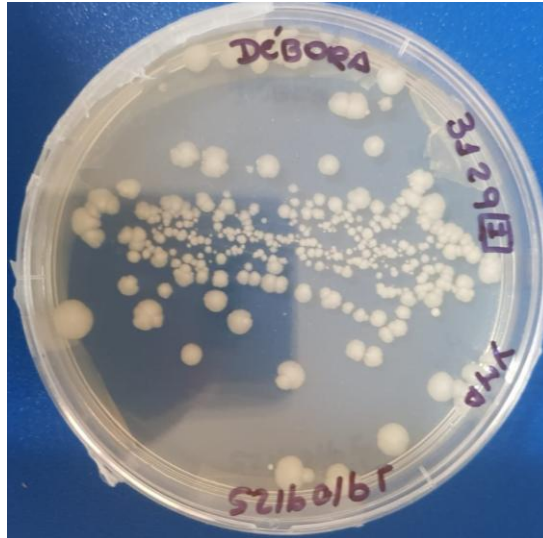
Fonte: Autor, 2025.

Figura 6 – Crescimento da levedura 2754S no meio sólido



Fonte: Autor, 2025.

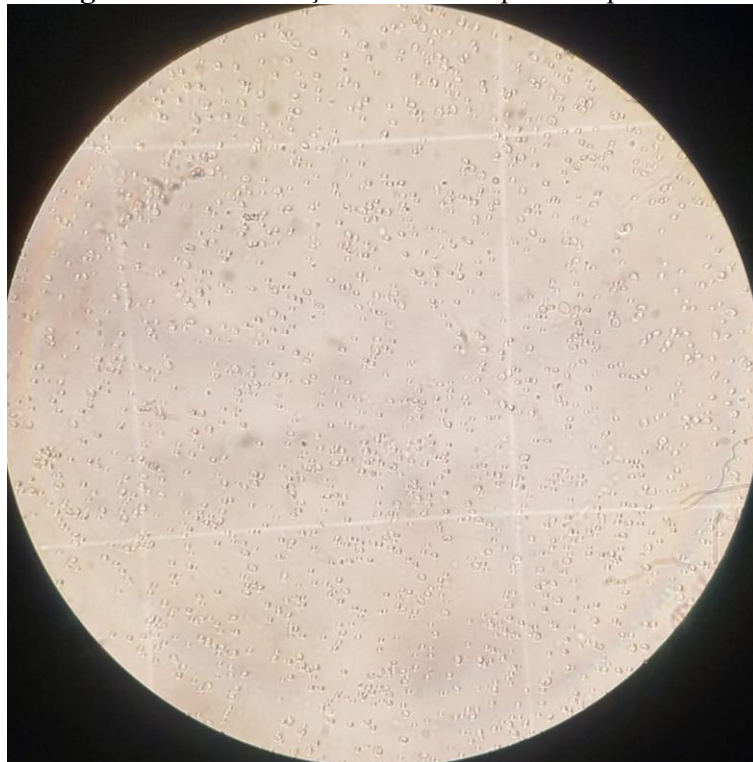
Figura 7 – Crescimento da levedura 3129I no meio sólido



Fonte: Autor, 2025.

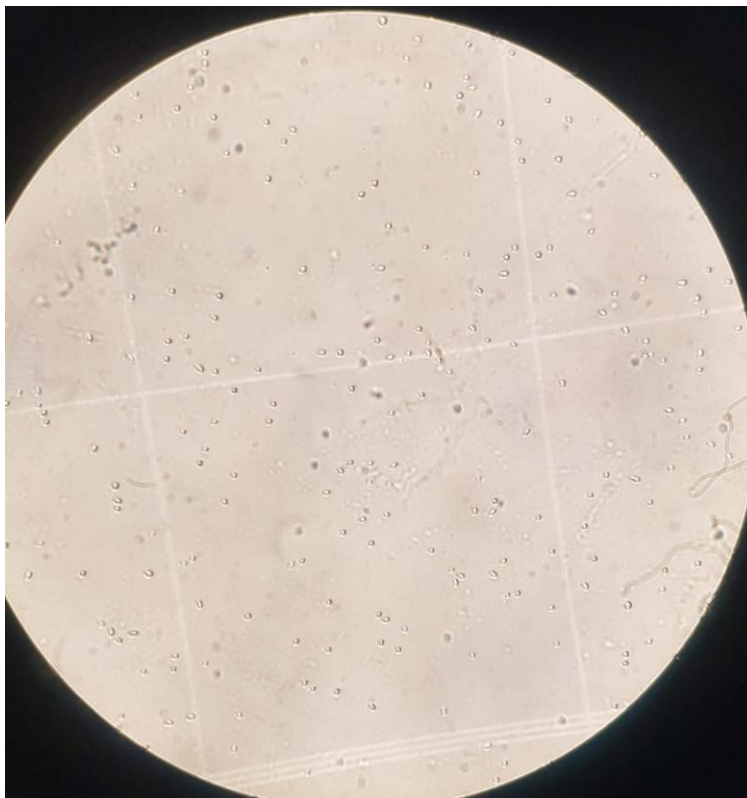
Quanto às características micromorfológicas, nenhuma das leveduras avaliadas apresentou formação de pseudo-hifas. As cepas 2506S e 2754S exibiram células de formato circular, dispostas de forma isolada, sem formação de agrupamentos. Em contraste, a cepa 3129I apresentou células em forma de bastonetes, com ocorrência de agrupamentos celulares.

Figura 8 – Visualização no microscópio da cepa 2506S



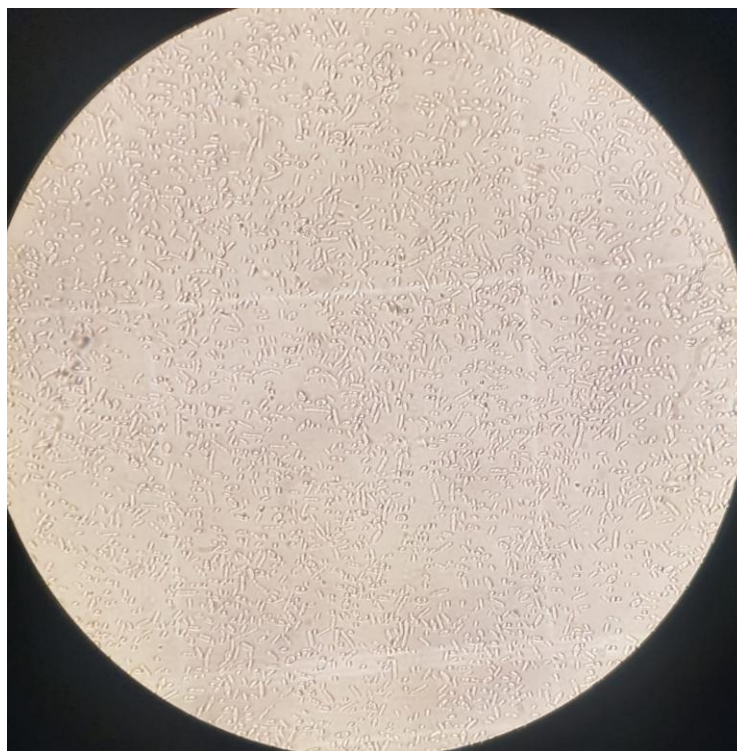
Fonte: Autor, 2025.

Figura 9 – Visualização no microscópio da cepa 2754S



Fonte: Autor, 2025.

Figura 10 – Visualização no microscópio da cepa 3129I



Fonte: Autor, 2025.

5.2. CURVA DE CALIBRAÇÃO

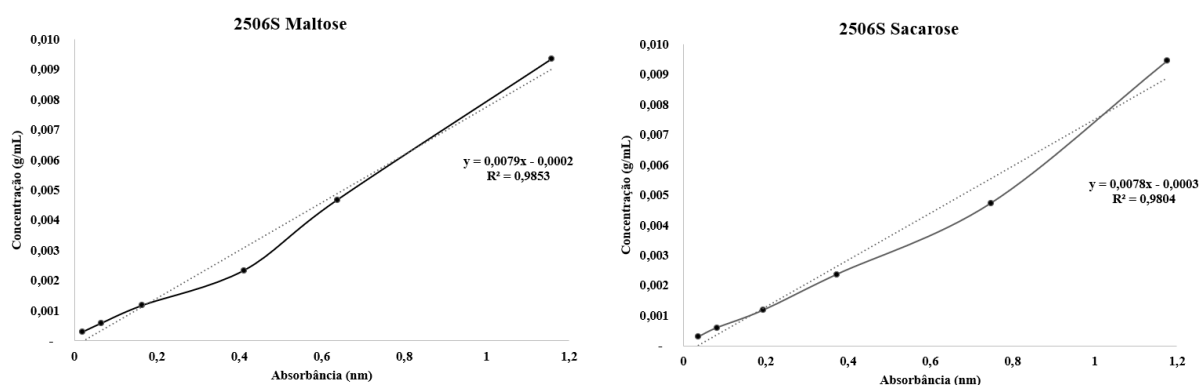
Foi construída uma curva de calibração relacionando a concentração de células (g/L) com os valores de absorbância no comprimento de onda de 610 nm. Para obtenção dos pontos da curva, os três microrganismos foram inoculados nos diferentes meios de cultura e incubados em agitador orbital (150 rpm) por 24 horas, à temperatura de 30 °C.

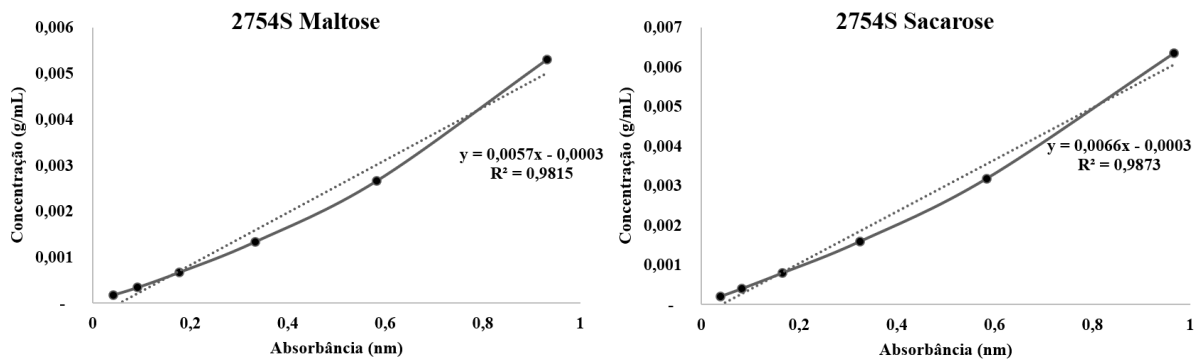
Após o período de crescimento, foram coletados 2 mL das culturas e transferidos para tubos de microcentrífuga, os quais foram centrifugados por cinco minutos a 10.000 rpm. O sobrenadante foi descartado, e os tubos foram levados à estufa para secagem por 24 horas. Posteriormente, procedeu-se à pesagem, sendo determinada a massa celular por meio da diferença entre o peso dos tubos secos contendo a biomassa seca e o peso dos tubos vazios.

Para a obtenção dos pontos de leitura de absorbância, a solução-mãe contendo os microrganismos foi diluída nas proporções 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 e 1:64. Essas diluições foram distribuídas nas colunas 1, 3, 5, 7, 9 e 11, respectivamente, de uma microplaca de 96 poços. Em seguida, a placa foi submetida à leitura em espectrofotômetro do tipo ELISA, com detecção a 610 nm.

Os dados obtidos foram utilizados para traçar os gráficos de calibração, apresentados a seguir.

Figura 11 – Curvas de calibração





Fonte: Autor, 2025.

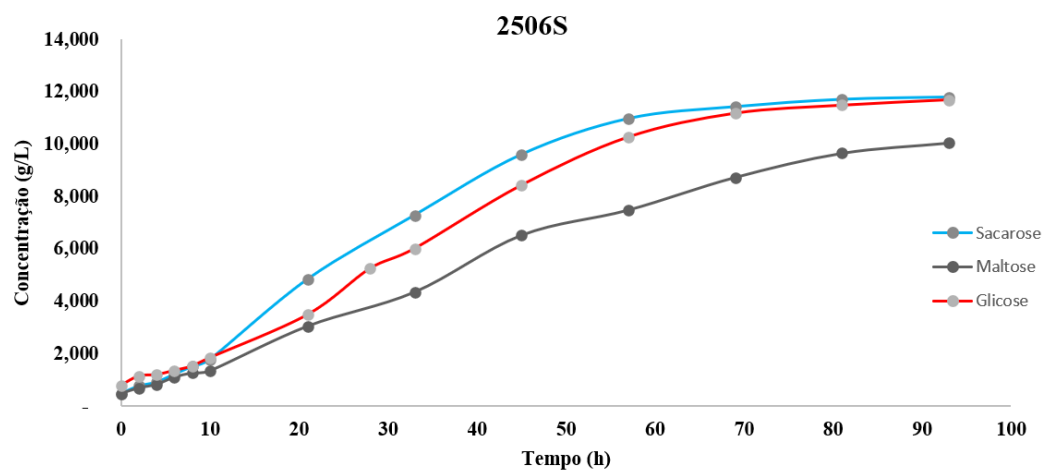
5.3. CINÉTICA DE CRESCIMENTO

5.3.1. Levedura 2506S

Para levedura 2506S são mostrados nas Figuras 6, 7 e 8 a cinética de crescimento na temperatura de 15 °C, 30 °C e 37 °C para as três fontes de carbono avaliadas.

- Temperatura de 15 °C

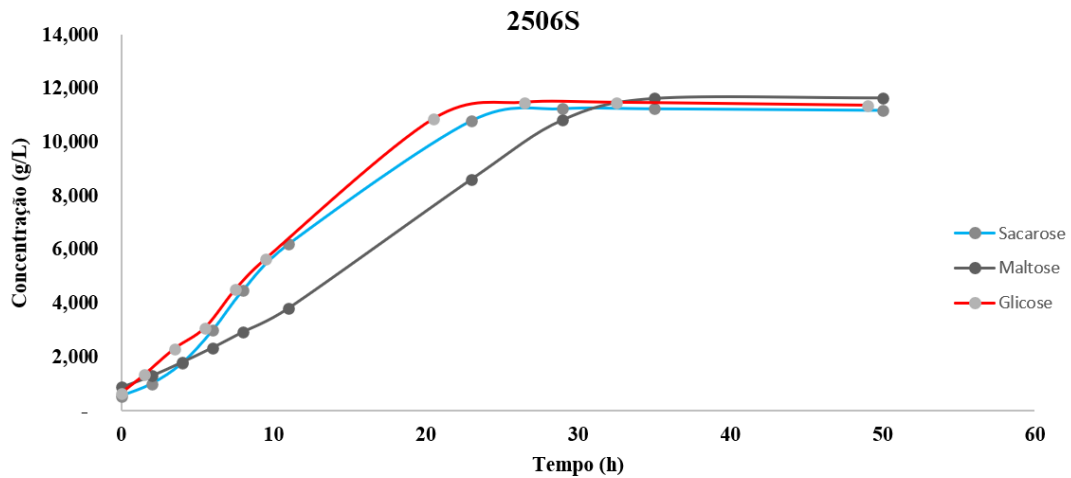
Figura 12 – Curvas de crescimento da cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 30 °C

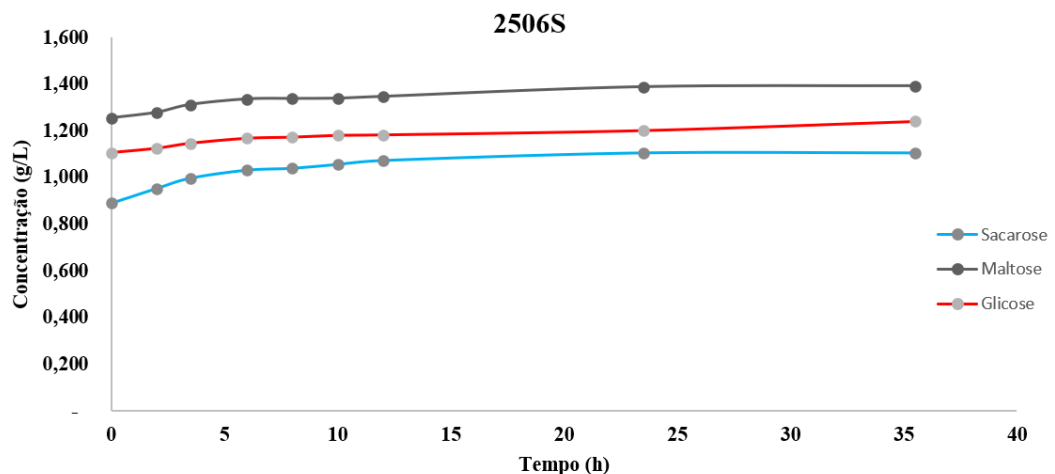
Figura 13 – Curvas de crescimento da cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 30°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 37 °C

Figura 14 – Curvas de crescimento da cepa 2506S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 37°C



Fonte: Autor, 2025.

Com base nos dados obtidos, observa-se que, mesmo sob baixa temperatura (15 °C), a levedura 2506S apresentou notável capacidade de adaptação e crescimento, atingindo valores de concentração superiores a 11 grama por litro (g/L). A presença de uma fase lag prolongada, com duração aproximada de 10 horas, indica a necessidade de ajustes metabólicos iniciais para adaptação às condições ambientais. Apesar do crescimento mais lento, esse comportamento é vantajoso em processos fermentativos controlados, como aqueles empregados em cervejarias artesanais ou vinícolas, que se beneficiam de fermentações a frio devido à melhor preservação de compostos voláteis e sensoriais.

Na temperatura de 30 °C, a cepa 2506S apresentou desempenho otimizado, com fase lag reduzida (cerca de 2 horas) e fase exponencial acelerada, com duração de aproximadamente 24 horas. A concentração final, próxima a 11,5 g/L, demonstra alta eficiência na conversão de substrato em biomassa. Esses dados indicam que essa faixa térmica corresponde à temperatura ótima de crescimento da cepa, possibilitando elevadas taxas de crescimento celular e reduzido tempo de processo. De acordo com Jones e Hough (1970), *Saccharomyces cerevisiae* cultivada em condições ideais atinge taxas máximas de crescimento semelhantes, o que reforça o potencial biotecnológico da cepa 2506S para aplicações industriais que demandam elevada produtividade em curto prazo.

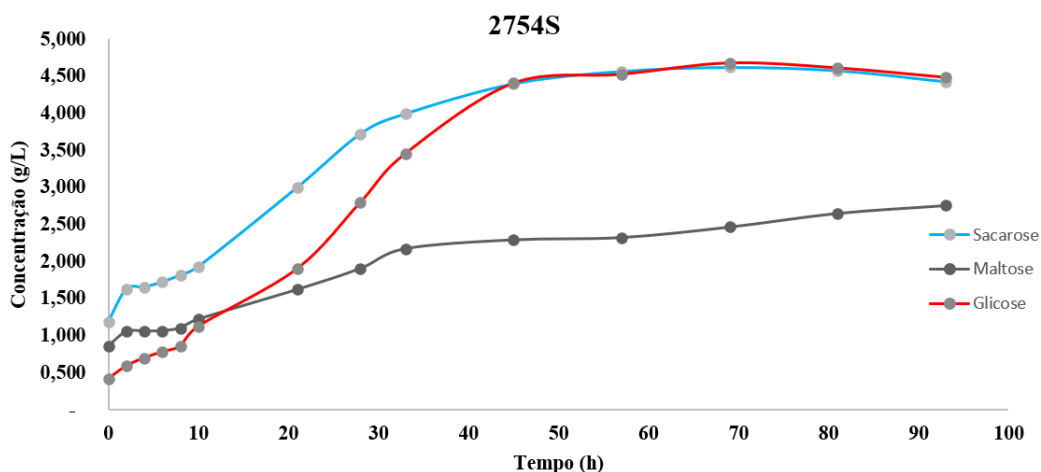
Por outro lado, a 37 °C, a levedura 2506S demonstrou inatividade metabólica evidente, sem aumento significativo da leitura de absorbância após 35 horas de incubação. Tal comportamento indica que essa temperatura se encontra próxima ou acima do limite térmico de crescimento da cepa, resultando na interrupção do metabolismo celular. Esse padrão é coerente com os dados reportados por Salvado et al. (2011), que apontam que cepas selvagens de *S. cerevisiae* geralmente não mantêm crescimento eficiente em temperaturas superiores a 36 °C, devido à sensibilidade térmica.

5.3.2. Levedura 2754S

Para levedura 2754S são mostrados nas Figuras 9, 10 e 11 a cinética de crescimento na temperatura de 15 °C, 30 °C e 37 °C para as três fontes de carbono avaliadas.

- Temperatura de 15 °C

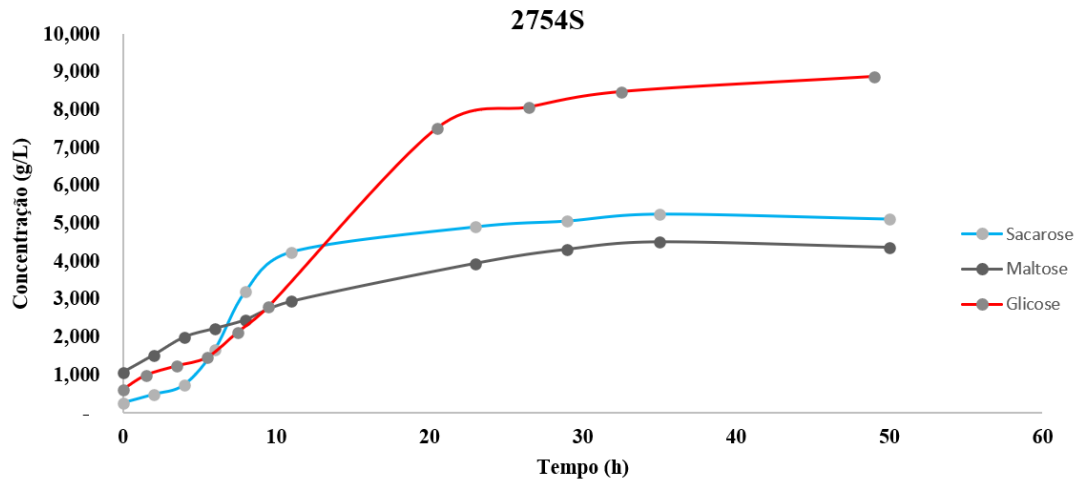
Figura 15 – Curvas de crescimento da cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 30 °C

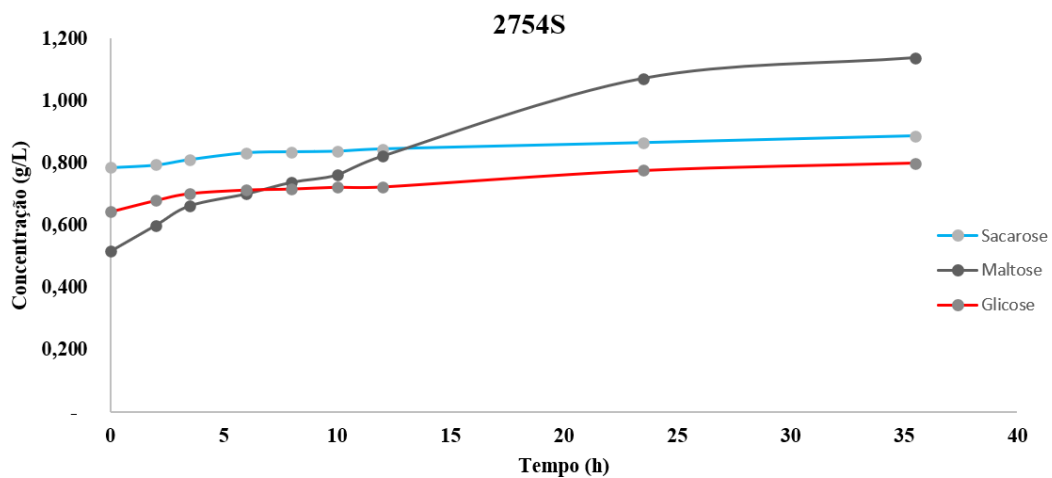
Figura 16 – Curvas de crescimento da cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 30°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 37 °C

Figura 17 – Curvas de crescimento da cepa 2754S cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 37°C



Fonte: Autor, 2025.

Com base nos dados obtidos, observa-se que, na temperatura de 30 °C, a levedura 2754S apresentou seu melhor desempenho, indicando que essa faixa térmica representa a condição ótima de crescimento para a cepa. A fase lag de aproximadamente quatro horas foi consistente nos três meios testados, evidenciando uma boa capacidade de adaptação inicial, independentemente da fonte de carbono utilizada.

A cepa 2754S apresenta características típicas de *Saccharomyces cerevisiae*, com rápida adaptação e metabolismo acelerado em temperatura de 30 °C. A preferência

observada pela glicose está em conformidade com o comportamento clássico de leveduras fermentativas, que tendem a metabolizar esse açúcar com maior eficiência em relação a outras fontes de carbono, devido à repressão por glicose sobre rotas metabólicas secundárias.

Em 15 °C, a 2754S manteve capacidade de crescimento, embora com redução significativa na taxa de multiplicação celular. A fase lag aumentou para cerca de dez horas e a fase exponencial estendeu-se por aproximadamente trinta horas. Os dados sugerem que a cepa possui moderada tolerância ao frio, característica que pode ser explorada em processos fermentativos realizados em temperaturas intermediárias ou controladas, como em fermentações de vinhos e cervejas. A utilização de maltose, embora possível, revelou-se menos eficiente em comparação à glicose e sacarose, possivelmente devido às limitações na assimilação desse substrato.

Por outro lado, na temperatura de 37 °C, a cepa não apresentou aumento significativo nas leituras de absorbância ao longo de 35 horas de cultivo, o que indica inatividade metabólica. Esse comportamento demonstra que a 2754S é sensível ao estresse térmico, possuindo um limite superior de tolerância térmica abaixo de 37 °C.

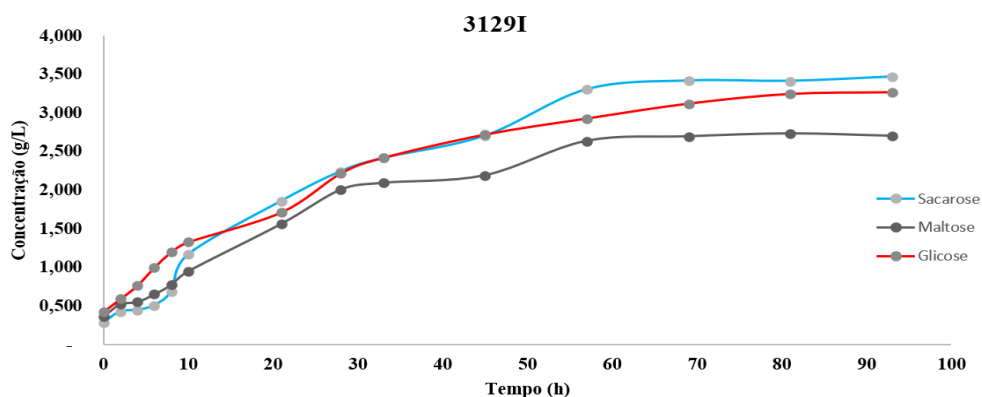
Dessa forma, conclui-se que a levedura 2754S apresenta bom desempenho especialmente eficiente a 30 °C, com preferência por glicose como fonte de carbono. No entanto, sua sensibilidade a temperaturas elevadas deve ser considerada na escolha de condições operacionais para aplicações biotecnológicas.

5.3.3. Levedura 3129I

Para levedura 2754S são mostrados nas Figuras 12, 13 e 14 a cinética de crescimento na temperatura de 15 °C, 30 °C e 37 °C para as três fontes de carbono avaliadas.

- Temperatura de 15 °C

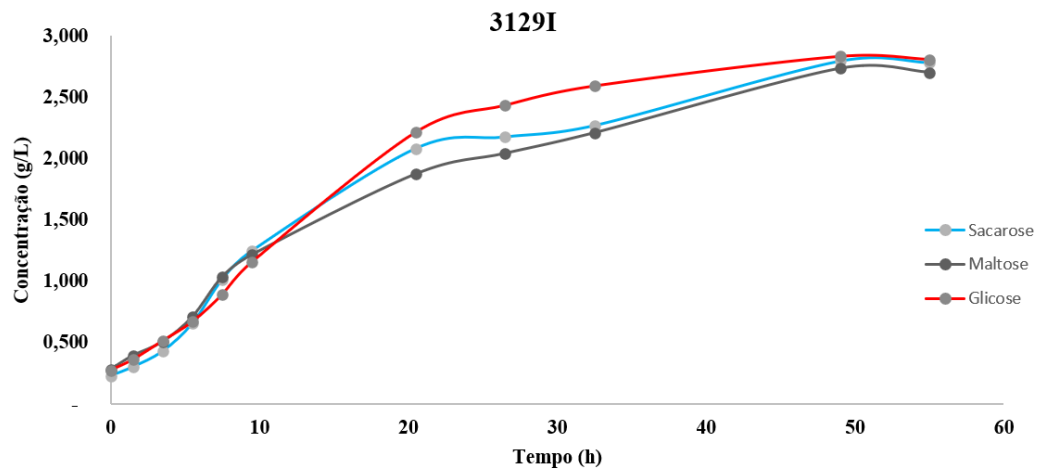
Figura 18 – Curvas de crescimento da cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose à 15°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 30 °C

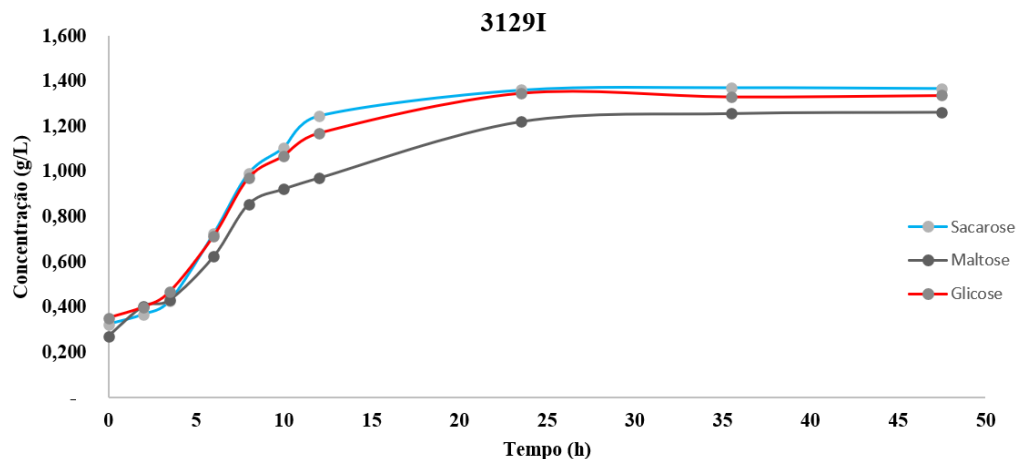
Figura 19 – Curvas de crescimento da cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose 30°C



Fonte: Autor, 2025.

- Temperatura de 37 °C

Figura 20 – Curvas de crescimento da cepa 3129I cultivada em meio com sacarose, maltose e glicose 37°C



Fonte: Autor, 2025.

Com base nos dados obtidos, observa-se que, na temperatura de 15 °C, a levedura 3129I apresentou seu melhor desempenho, atingindo valores de concentração próximos a 3,4 g/L, com uma fase lag de 10 horas e uma fase exponencial prolongada de 47 horas.

Esses resultados sugerem que a cepa 3129I possui um metabolismo adaptado a baixas temperaturas, embora apresente taxas de crescimento reduzidas. A longa fase exponencial, acompanhada de crescimento contínuo e estável, é característica de microrganismos que, apesar do crescimento lento, mantêm atividade metabólica consistente em ambientes frios. O fato de a cepa crescer de forma semelhante em diferentes açúcares evidencia ainda uma versatilidade metabólica.

Na temperatura de 30 °C, a cepa atingiu valores de concentração próximos a 3,5 g/L, com uma fase lag de 4 horas e uma fase exponencial de 28 horas. O desempenho, ligeiramente inferior ao observado a 15 °C sugere que a 3129I não se comporta como uma cepa mesofílica típica. Sua performance estável, porém, menos intensa, indica que mantém atividade metabólica moderada, sem atingir os picos de crescimento esperados nessa faixa térmica. Essa característica pode ser vantajosa em processos onde a consistência e a estabilidade metabólica são mais importantes que a velocidade de crescimento.

Na temperatura de 37 °C, a cepa 3129I atingiu valores de concentração próximos a 1,3 g/L, apresentando fase lag de 4 horas e uma fase exponencial reduzida de apenas 8 horas. Apesar da redução expressiva na densidade celular, a 3129I demonstrou capacidade de crescimento mesmo sob estresse térmico, ainda que de forma limitada. O curto período de crescimento exponencial e os baixos valores de concentração observados refletem uma atividade metabólica substancialmente reduzida, mas não completamente inibida, como ocorreu com outras cepas testadas, como a 2506S e a 2754S. Esse comportamento sugere que a 3129I apresenta tolerância térmica relativa, conseguindo manter viabilidade celular em temperaturas elevadas, mesmo que com produtividade comprometida.

5.3.4. Comparativo

Observa-se que a levedura 2506S apresentou as maiores concentrações celulares ao final do período de incubação, atingindo valores aproximadamente duas vezes superiores aos obtidos com a cepa 2754S e quatro vezes maiores em comparação à 3129I na temperatura de 15°C e 30°C. Esse desempenho superior pode estar relacionado à maior eficiência metabólica da cepa 2506S em utilizar a fonte de carbono disponível, mesmo sob condições de temperatura reduzida.

Apesar das diferenças nas concentrações finais, todas as cepas apresentaram uma fase exponencial prolongada, atribuída à baixa temperatura de cultivo (15 °C). Temperaturas mais baixas são conhecidas por reduzir a taxa de reações metabólicas e, consequentemente, desacelerar o crescimento microbiano, como descrito por Madigan et al. (2016). A fase exponencial teve duração aproximada de 40 horas para as cepas 2506S e 2754S, e cerca de 50 horas para a 3129I, indicando que esta última possui um metabolismo ainda mais lento nessas condições.

Além disso, todas as leveduras apresentaram uma fase de adaptação ao meio e à temperatura (fase lag) com duração média de 10 horas.

Esses resultados indicam que a cepa 2506S possui maior potencial para aplicações biotecnológicas em condições de baixa temperatura, como na produção de bebidas fermentadas que exigem fermentações mais lentas e controladas.

5.4. Velocidade máxima de crescimento celular

A partir da relação entre absorbância e concentração celular determinada pela curva de calibração, foram calculadas as velocidades específicas máximas de crescimento celular (μ_{max}) e os tempos de geração (t_g) para cada uma das condições experimentais utilizando as equações 2 e 3. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Velocidades específicas máximas e tempos geracionais experimentais

		15°C	30°C	37°C
2506S Sacarose	μ_{max}	0,131	0,221	0,017
	Tempo geracional	5,276	3,136	40,850
2506S Maltose	μ_{max}	0,104	0,134	0,006
	Tempo geracional	6,634	5,154	107,031
2506S Glicose	μ_{max}	0,085	0,228	0,006
	Tempo geracional	8,159	3,043	106,933
2754S Sacarose	μ_{max}	0,045	0,226	0,006
	Tempo geracional	15,266	3,064	121,551
2754S Maltose	μ_{max}	0,032	0,087	0,034
	Tempo geracional	21,802	7,992	20,688
2754S Glicose	μ_{max}	0,086	0,168	0,010
	Tempo geracional	8,072	4,126	68,431
3129I Sacarose	μ_{max}	0,244	0,149	0,105
	Tempo geracional	2,844	4,662	6,623
3129I Maltose	μ_{max}	0,082	0,130	0,101
	Tempo geracional	8,449	5,315	6,857
3129S Glicose	μ_{max}	0,100	0,128	0,097
	Tempo geracional	6,913	5,434	7,159

Fonte: Autor, 2025.

Os pontos correspondentes à fase exponencial das curvas de crescimento foram utilizados para estimar a concentração celular no meio (X_i), por meio da conversão dos valores de absorbância obtidos em concentração (g/L), com base na equação da curva de calibração previamente estabelecida.

Os dados obtidos reforçam as análises das curvas de crescimento, evidenciando os maiores valores de μ_{max} e menores t_g para a levedura 2506S nas temperaturas de 15°C e 30°C em comparação com as demais. Na temperatura de 37°C vemos que tanto a levedura 2506S quanto a 2754S apresentam valores elevados quanto ao tempo geracional e velocidades máximas de crescimento diminutas, confirmando sua inatividade em altas temperaturas. Embora tenha obtido valores inferiores as outras duas, a levedura 3129I apresentou tanto uma velocidade máxima de crescimento celular quanto um tempo geracional relativamente estáveis em todas as faixas de temperatura testadas, bem como resultados semelhantes com as três fontes de carbono diferentes.

Os dados obtidos corroboram as análises das curvas de crescimento, evidenciando que a levedura 2506S apresentou os maiores valores de velocidade específica máxima de crescimento (μ_{max}) e os menores tempos de geração (t_g) nas temperaturas de 15 °C e 30 °C, em comparação com as demais cepas.

Jones & Hough (1970) investigaram levedura de pão (*S. cerevisiae*) em cultura contínua. Eles observaram que, à 25 °C, a taxa máxima de crescimento (μ_{max}) era de cerca de 0,22 h⁻¹, valor semelhante ao obtido na temperatura de 30°C para a cepa 2506S.

Em contrapartida, na temperatura de 37 °C, tanto a cepa 2506S quanto a 2754S apresentaram valores elevados de tempo geracional e baixas velocidades de crescimento, indicando possível sensibilidade térmica ou inatividade metabólica em condições de temperatura elevada. Um estudo comparativo envolvendo 27 cepas de *Saccharomyces* relatou que *S. cerevisiae* tem o maior T_{opt} (~32,3 °C) e T_{max} (~45,4 °C) (Salvadó, Z.n et al., 2011). O comportamento reduzido das suas cepas 2506S e 2754S em 37 °C está alinhado com esse padrão: muitos *Saccharomyces* selvagens não crescem bem acima de 36–38 °C.

Embora tenha apresentado valores inferiores às demais em termos absolutos, a levedura 3129I demonstrou um desempenho mais consistente: tanto a velocidade máxima de crescimento quanto o tempo de geração permaneceram relativamente estáveis em todas as temperaturas avaliadas. Além disso, essa cepa apresentou resultados semelhantes quando cultivada com as três fontes de carbono testadas, sugerindo maior tolerância às variações ambientais e nutricionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram o potencial biotecnológico de cepas de leveduras selvagens isoladas da cana-de-açúcar cultivada na região de Areia-PB para aplicação em processos fermentativos. A análise da cinética de crescimento evidenciou o bom desempenho da cepa 2506S nas temperaturas de 15 °C e 30 °C, com altas velocidades específicas de crescimento (μ_{max}) e baixos tempos de geração, sugerindo sua viabilidade tanto para fermentações em temperatura ambiente quanto em condições mais amenas, como ocorre em regiões serranas.

A cepa 3129I destacou-se pela estabilidade de crescimento em todas as condições testadas, incluindo diferentes fontes de carbono e faixas de temperatura, o que indica uma maior robustez metabólica e possível adequação a processos industriais sujeitos a variações operacionais. No entanto, apesar de sua estabilidade, a cepa 3129I não atingiu valores elevados de concentração celular ao final da fase exponencial de crescimento, o que pode limitar seu uso em processos que exigem alta produtividade celular.

Por outro lado, o desempenho inferior das cepas 2506S e 2754S a 37 °C indica sensibilidade térmica, o que deve ser considerado na escolha da cepa para processos fermentativos em regiões de clima mais quente ou em condições sem controle térmico rigoroso.

A comparação com dados da literatura, que apontam 30 °C como a temperatura ótima para o crescimento de *Saccharomyces cerevisiae*, corrobora os resultados aqui obtidos. A alta concentração celular alcançada pela cepa 2506S, especialmente em 15 °C, reforça sua viabilidade para processos fermentativos em baixas temperaturas, contribuindo para a eficiência e flexibilidade de aplicação industrial.

Dessa forma, este estudo evidencia que a prospecção de microrganismos selvagens representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de fermentações mais eficientes, adaptadas às condições locais e capazes de agregar valor à produtos regionais, como a cachaça paraibana. Recomenda-se que estudos futuros sejam direcionados à avaliação da produtividade alcoólica dessas cepas em condições de fermentação em escala laboratorial e industrial, a fim de validar seu potencial tecnológico e sua viabilidade para aplicação em processos produtivos.

REFERÊNCIAS

- AMCHARA, F. Et al. Effect of Stevia rebaudiana, sucrose and aspartame on human health: A comprehensive review. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2018. 102. 102-108.
- ALVES, S. L.; THEVELEIN, J. M.; STAMBUK, B. U. Expression of *Saccharomyces cerevisiae* α -glucoside transporters under different growth conditions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 31, n. 1, p. 1–8, 2014.
- ALVES, J. Estudo da influência da temperatura na cinética de crescimento anaeróbico de *Saccharomyces cerevisiae*. Tese de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1996.
- BASSO, R.F., Alcarde, A.R., Portugal, C.B., 2016. Could non-*Saccharomyces* yeasts contribute on innovative brewing fermentations? *Food Res. Int.* 86, 112–120.
- CARLOS, J. et al. The influence of presaccharification, fermentation temperature and yeast strain on ethanol production from sugarcane bagasse, *Bioresource Technology*, v. 109, 2012, Pages 63-69, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.024>.
- CHAE HJ, JOO H, In MJ. 2001. Utilization of brewer's yeast cells for the production of food-grade yeast extract. Part 1: Effects of different enzymatic treatments on solid and protein recovery and flavor characteristics. *Bioresour. Technol.* 76: 253-258.
- CHOWDHURY, R. Et al. Noninvasive Blood Glucose Sensing Using Near Infra-Red Spectroscopy and Artificial Neural Networks Based on Inverse Delayed Function Model of Neuron. *Journal of Medical Systems*. 2014. 10.1007/s10916-014-0166-2.
- FARIA-OLIVEIRA, F. et al. The Role of Yeast and Lactic Acid Bacteria in the Production of Fermented Beverages in South America. *Food Production and Industry*, 2015.
- FONSECA, M.; MARTINS, M. Produção mais limpa no setor de cachaça: estudo em engenho no estado da Paraíba. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 117-130, 2018.
- GALLONE, B. et al. Origins, evolution, domestication and diversity of *Saccharomyces* beer yeasts. *Curr Opin Biotechnol.* 2018 Feb;49:148-155. doi: 10.1016/j.copbio.2017.08.005. Epub 2017 Sep 3. PMID: 28869826.
- GIANNAKOU, K. et al. Biotechnological exploitation of *Saccharomyces jurei* and its hybrids in craft beer fermentation uncovers new aroma combinations. *Food Microbiology*, v. 100, p. 103838, 2021.
- GIBSON, B. R. et al. Comparative physiology and fermentation performance of Saaz and Froberg lager yeast strains and the parental species *Saccharomyces eubayanus*. *Yeast*, v. 30, n. 7, p. 255–266, 2013.

HIDAYAT, B. et al. "Growth Kinetics of *Saccharomyces Cerevisiae* and Tape Yeast on the Cassava Pulp Fermentation and Its Granular Morphology Changes." *Newest Updates in Physical Science Research* v. 6, 2021.

IMRAN, I.; CHOI, J. 2017. "Clinical and Physiological Perspectives of β -Glucans: The Past, Present, and Future" *International Journal of Molecular Sciences* 18, no. 9: 1906. <https://doi.org/10.3390/ijms18091906>.

JONES, R. C.; HOUGH, J. S. The effect of temperature on the metabolism of baker's yeast growing on continuous culture. **Microbiology**, v. 60, n. 1, p. 107-116, 1970

KRISTBERGSSON, K. OLIVEIRA, J. Traditional foods General and Consumer Aspects, 2016.

LOPES, A. C. A. et al. Cinética de crescimento de levedura em mosto de cagaita para produção de bebida fermentada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 06–10, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i3.2975. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2975>. Acesso em: 18 sep. 2025.

MADIGAN, M. T. et al. *Microbiologia de Brock*. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016.

MAIA, A. B. R. A.; CAMPELO, E. A. P.; *Tecnologia da Cachaça de Alambique*, Editora SEBRAE/MG; SINDBEBIDAS: Belo Horizonte, 2006.

MARDONES, W. et al. Rapid selection response to ethanol in *Saccharomyces eubayanus* emulates the domestication process under brewing conditions. *Microb Biotechnol*. 2022 Mar;15(3):967-984. doi: 10.1111/1751-7915.13803. Epub 2021 Mar 23. PMID: 33755311; PMCID: PMC8913853.

MATOS, T. Novas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* e híbridos entre *S. cerevisiae* e *Saccharomyces kudriavzevii* para a produção de cerveja, cachaça e vinho. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (Brasil). Brasil possui mais de 7.200 cachaças registradas. *Portal Agro Brasil – Notícias*, Brasília, 28 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-possui-mais-de-7-200-cachacas-registradas>. Acesso em: 26 . 07. 2025.

MONTANDON, G. G. Seleção de linhagens indígenas de *Saccharomyces cerevisiae* para produção de cervejas de alta fermentação. 2016.

MULLER, G.; de Godoy, V.R.; Dário, M.G.; Duval, E.H.; Alves-Jr, S.L.; Bücker, A.; Rosa, C.A.; Dunn, B.; Sherlock, G.; Stambuk, B.U. Improved Sugarcane-Based Fermentation Processes by an Industrial Fuel-Ethanol Yeast Strain. *J. Fungi* **2023**, 9, 803. <https://doi.org/10.3390/jof9080803>.

NITHIYANANTHAM, S. & Lakshmanan, Palaniappan. Ultrasonic investigation on aqueous polysachharide (Starch) at 298.15 K. *Arabian Journal of Chemistry*. 2014. 7. 272-276.

ORTIZ, S. “AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE FERMENTATIVA E DO CRESCIMENTO CELULAR DA LEVEDURA *Saccharomyces Cerevisiae* CCT-3174.” Blucher Chemical Engineering Proceedings, 2015.

ORTIZ-MUÑOZ, et al. Kinetic study on ethanol production using *Saccharomyces cerevisiae* ITV-01 yeast isolated from sugar cane molasses. *J Chem Technol Biotechnol*, v. 85, p. 1361-1367, 2010.

RIBEIRO, C.; HORII, J. POTENCIALIDADES DE LINHAGENS DE LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* PARA A FERMENTAÇÃO DO CALDO DE CANA. *Sci. Agric*. V. 56 (2), 1999.

RODRIGUES, C. et al. Aerobic growth physiology of *Saccharomyces cerevisiae* on sucrose is strain-dependent, *FEMS Yeast Research*, v. 21, Issue 3, May 2021, foab021, <https://doi.org/10.1093/femsyr/foab021>.

SALVADOR, M. et. al. Monitoring a mixed starter of *Hanseniaspora vineae*–*Saccharomyces cerevisiae* in natural must: impact on 2-phenylethyl acetate production. *International Journal of Food Microbiology*, Amsterdam, v. 151, n. 2, p. 235–240, 2011. ISSN 0168-1605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.09.005>.

SCHMIDELL, W. LIMA, U. A. AQUARONE, E. BORZANI, W. *Biotecnologia industrial: volume 1: fundamentos*. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo-SP, 2008.

SILVA, Pêrsio Alexandre da; et al. Potencial tecnológico de leveduras não-*Saccharomyces*. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32754>.

SHENG, L. et al. Effects of rice husk on the tolerance of *Saccharomyces cerevisiae* to high temperature and ethanol concentration, *Fuel*, v. 333, Part 1, 2023, 126406, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126406>.

SOCOOL, C.; VANDENBERGHE, L. Overview of applied solid-state fermentation in Brazil, *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, Issues 2–3, 2003, p. 205-218, ISSN 1369-703X, [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00133-X).

STROPPIA, Cibele Tosin; ALVES, José Guilherme Lembi Ferreira; FIGUEIREDO, Ana Luíza França de; CASTRO, Cristina Calabresi. Parâmetros cinéticos de linhagens de levedura isoladas de alambiques mineiros. *Ciência e Agrotecnologia. Comunicações*, v. 33, suplemento, p. 1978-1983, 2009. DOI: 10.1590/S1413-70542009000700048.

THERMO FISHER SCIENTIFIC. Peptones: Thermo Fisher Scientific. Disponível em: <https://www.thermofisher.com/bf/en/home/life-science/bioproduction/gibco-bioprocessing/feeds-supplements/peptones.html.html>. Acesso em: 09 jul. 2025.

YANCHAL, Y. et al. Valorization of sugarcane bagasse for bioethanol production through simultaneous saccharification and fermentation: Optimization and kinetic studies, *Fuel*, v. 262, 2020, 116552, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116552>.

ZAKHARTSEV, M. et al. Metabolic efficiency in yeast *Saccharomyces cerevisiae* in relation to temperature dependent growth and biomass yield, *Journal of Thermal Biology*, v. 52, 2015, p. 117-129, ISSN 0306-4565, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.05.008>.