



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**KAUÊ TAVARES**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA  
CATIÔNICA E ANIÔNICA NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO  
CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química Industrial do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito à obtenção do Certificado de Conclusão.

**Orientando:** Kauê Tavares

**Orientadora:** Patricia Cavani Martins de Mello

**Assis/SP  
2023**



**Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"**

**KAUÊ TAVARES**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA  
CATIÔNICA E ANIÔNICA NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO  
CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP**

**Assis/SP  
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

TAVARES, Kaue.

**Avaliação do Potencial da Aplicação de Poliacrilamida Catiônica e Aniônica no Processo de Clarificação do Caldo de Cana-de-Açúcar, da Produção de Açúcar VHP** / Kaue Tavares. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA – Assis, 2023  
40p

1. Poliacrilamida. 2. Cana. 3. Açúcar VHP

**CDD:**

Biblioteca da FEMA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA  
CATIÔNICA E ANIÔNICA NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO  
CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP**

**KAUE TAVARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação Química Industrial, avaliado pela seguinte comissão examinadora:

**Orientador:** Dra. Patrícia Cavani Martins de Mello

**Examinador:** Me. Alexandre Vinicius Guedes Mazali

**Assis/SP  
2023**

## RESUMO

O caldo de cana possui alguns componentes que prejudicam a qualidade do açúcar acabado. Estes componentes na maioria das vezes são partículas que estão presentes no caldo que podem conferir coloração alta, viscosidade ou má formação dos cristais. Este trabalho teve como objetivo demonstrar o processo de clarificação do caldo de cana de açúcar e a aplicação do polímero acrilamida e posteriormente realizar um teste em planta industrial. Polímeros. Testes em laboratoriais foram realizados no caldo de cana de açúcar antes e após o teste de decantação (pH, brix, temperatura, turbidez, transmitância e cor). O Claritest foi desempenhado com 0,02%, 0,05% e 0,10% de polímero. No tratamento realizado com polímero a 0,05% de concentração obteve-se melhor performance e os resultados foram usados para aplicação na planta industrial. Foram obtidos ótimos resultados na aplicação do polímero aniônico para a decantação, ultrapassando as expectativas industriais em 10 pontos para a fabricação de açúcar VHP. Com os testes chegou-se a valores de Cor ICUMSA entre 450 e 600, o que possibilitou a diminuição de alguns parâmetros de fabricação como calagem e volume de água utilizado para a lavagem do filtro prensa.

**Palavras-chave:** poliacrilamida; cana; açúcar VHP

## ABSTRACT

Sugarcane juice has some components that harm the quality of the finished sugar. These components are most often particles present in the broth that can cause high color, viscosity or poor crystal formation. This work aimed to demonstrate the process of clarification of sugar cane juice and the application of the polymer acrylamide and subsequently carry out a test in an industrial plant. Polymers. Laboratory tests were carried out on sugar cane juice before and after the decantation test (pH, brix, temperature, turbidity, transmittance and color). Claritest was performed with 0.02%, 0.05% and 0.10% polymer. In the treatment carried out with polymer at 0.05% concentration, better performance was obtained and the results were used for application in the industrial plant. Excellent results were obtained in the application of the anionic polymer for decantation, exceeding industrial expectations by 10 points for the manufacture of VHP sugar. The tests reached ICUMSA Color values between 450 and 600, which made it possible to reduce some manufacturing parameters such as liming and volume of water used to wash the filter press.

**Keywords:** polyacrylamide; cane; VHP sugar

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>CANA DE AÇÚCAR E POSIÇÃO NO MERCADO.....</b>	<b>6</b>
2.1	CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	6
2.2	CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA COMPOSIÇÃO.....	8
2.2.1	Açúcares.....	8
2.3	TRATAMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP .....	9
<b>3</b>	<b>POLIACRILAMIDA.....</b>	<b>14</b>
3.1	POLÍMERO ANIÔNICO.....	16
3.2	POLÍMERO CATIÔNICO.....	17
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	SIMULAÇÃO DE DECANTAÇÃO.....	20
4.1.1	Preparo das Soluções de Polímeros.....	20
4.1.2	Coleta de amostra de Caldo.....	20
4.1.3	Análise do Potencial Hidrogeniônico (pH) do Caldo.....	21
4.1.4	Análise do Brix do Caldo.....	21
4.1.5	Realização do Claritest.....	21
4.1.6	Análise da Turbidez no Caldo Clarificado.....	22
4.1.7	Análise da Transmitância no Caldo Clarificado.....	23
4.1.8	Análise da Cor no Caldo Clarificado.....	23
4.2	FILTRO PRENSA – APLICAÇÃO.....	24
4.2.1	A análise de POL (Pureza Óptica da Cana).....	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>



## 1. INTRODUÇÃO

As usinas sucroalcooleiras representam para o país uma gama do agronegócio nacional, contribuindo para a economia, sustentabilidade além da geração de milhões de empregos. Após o surgimento do Proálcool e o desenvolvimento tecnológico de sua produção e a utilidade dos produtos derivados da cana de açúcar, a indústria sucroalcooleira foi ganhando seu espaço (FRANCISCO, 2023).

A produção deste cristal de soma importância envolve etapas que começam ainda na recepção, como a pesagem e amostragem, processo importante para a classificação do produto pela indústria e atribuição de valor para o produtor pela qualidade da cana fornecida (JUNIOR, 2018).

O trabalho abordado se refere a clarificação do caldo e suas respectivas etapas como calagem, aquecimento, decantação e filtro prensa. O caldo de cana obtido na etapa de extração apresenta uma quantidade e qualidade variável de impurezas, que podem ser solúveis ou insolúveis. O tratamento primário do caldo tem como objetivo a máxima eliminação das impurezas insolúveis (areia, argila e bagacilho), cujos teores variam de 0,1 a 10,0%. A eliminação deste material beneficia o processo e aumenta a eficiência e a vida útil dos equipamentos instalados, contribuindo também para a obtenção de produtos finais de melhor qualidade (COOPERSUCAR, 2004).

O caldo de cana possui alguns componentes que prejudicam a qualidade do açúcar acabado. Estes componentes na maioria das vezes são partículas que estão presentes no caldo que podem conferir coloração alta, viscosidade ou má formação dos cristais. Diante disto, é necessário realizar alguns tratamentos no caldo a fim de eliminar totalmente ou parcialmente estes compostos indesejáveis. Os tratamentos realizados no caldo são do tipo químico, físico e térmico (LIMA, 2012)

Nem todas as unidades produtoras possuem tratamentos de caldo iguais, isto porque algumas unidades produzem açúcar de baixa coloração e outras produzem açúcar com uma coloração mais alta. As variações estão mais atreladas a tratamentos químicos, como por exemplo, adição de gás sulfuroso ao caldo a fim de evitar reações de escurecimento no açúcar produzido. Algumas etapas do tratamento de caldo são padrão todas as unidades de produção açucareira (ENGENHO NOVO, 2008)

Um agente muito importante nesta jornada para um caldo de ótima qualidade são os

polímeros. Na indústria são utilizados polímeros catiônicos e também os aniônicos, que se diferenciam pela aplicação. O polímero catiônico é usado no filtro prensa, auxiliando na recuperação da sacarose perdida junto ao lodo. O polímero aniônico é responsável pela decantação das partículas suspensas em meio líquido (VADUZ, 2021).

Este trabalho teve como objetivo demonstrar o processo de clarificação do caldo de cana de açúcar e a aplicação dos polímeros em seus respectivos processos, além do monitoramento dos parâmetros pré-estabelecidos por uma unidade industrial de açúcar, da cidade de Borá/SP.

## 2. CANA DE AÇÚCAR E POSIÇÃO NO MERCADO

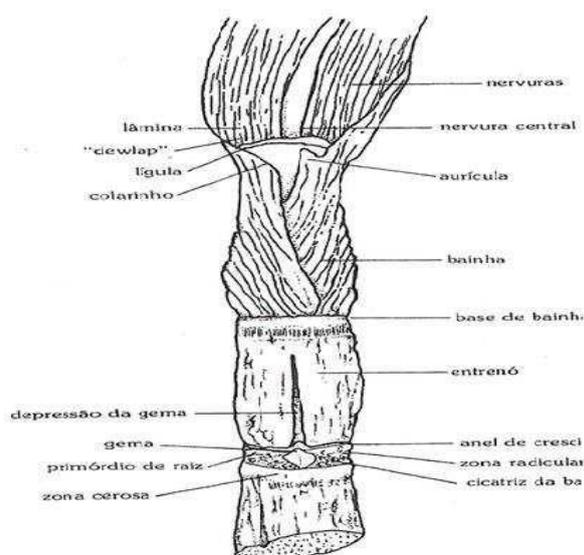
No Brasil a produção de cana-de-açúcar atingiu 715.659.212 toneladas em 2021, já sua área colhida foi de 9.970.958 hectares. Dividido por região, revela que o norte-nordeste representa 15% e o centro-sul representa 85% da produção total do país segundo o IBGE (2021). A indústria sucroalcooleira é importante não somente para o agronegócio brasileiro como também pela relevância do açúcar para o consumo humano. O açúcar proveniente da cana-de-açúcar está entre os produtos mais consumidos pela população e a indústria açucareira cresce continuamente, não só em porte, mas também em qualidade. Desde seu surgimento, a indústria de açúcar brasileira foi passível de grande regulação do Estado, principalmente pelo importante papel desempenhado pelo setor na economia nacional (RODRIGUES e MORAES, 2007). Embora esses cenários sejam desenhados com o uso da tecnologia atual, é importante que aperfeiçoamentos científicos continuem ocorrendo. Nos últimos 40 anos, os avanços foram intensos e alguns resultados já podem ser observados, como a diminuição da perda no processo de fabricação, proporcionando uma melhoria na qualidade do açúcar, por exemplo, pelo avanço do cultivo e uma maior variedade da cana-de-açúcar, passando por controles biológicos na sua produção, até chegar ao aumento na geração energética (autossuficiência), porém, o processo de clarificação do açúcar cristal baseado na sulfitação não sofre quaisquer alterações ou melhorias (ARAÚJO, 2007).

### 2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) possui diferentes origens, sendo algumas espécies da Oceania e outras asiáticas (VILA, 2006). É uma planta perene da família *Poaceae* e gênero *Saccharum*; sendo sua propagação feita por meio dos colmos com 2–3 gemas. O colmo é cilíndrico, ereto, fibroso e rico em sacarose, dependendo da variedade. Existem cerca de trinta espécies conhecidas e catalogadas sendo que das espécies reconhecidas pelos botânicos a mais plantada no Brasil é a *S. officinarum*, por apresentar baixo conteúdo de fibras e alto teor de sacarose (UNICA, 2022). O nome atual da espécie está relacionado ao

fato de que todas as variedades de cana-de-açúcar atualmente cultivadas no mundo são para produção de açúcar, álcool, aguardente ou forragem. Essas variedades são híbridas e resultantes de cruzamentos entre diferentes espécies de plantas (ANDRADE, 2001).

A cana-de-açúcar compõe-se essencialmente por três partes, as raízes por onde absorve toda riqueza orgânica e mineral do solo; as folhas que realizam processos como respiração, transpiração e fotossíntese e o colmo que é a haste principal da planta, e tecnologicamente representa a parte de maior interesse, O colmo é constituído de nós e entrenós, em cada nó existem uma gema, protegida pela bainha da folha, é parte onde se acumula todo o açúcar produzido pelas folhas, contendo aproximadamente 90% de caldo (CASTRO e ANDRADE, 2007).



**Figura 1:** Colmo e bainha (In: CASTRO e ANDRADE, 2007).

A cana-de-açúcar é uma planta que exige condições climáticas bem definidas para o seu cultivo. A cultura desenvolve-se bem onde o clima é caracterizado por uma estação chuvosa de intensa radiação solar seguida de período seco com menor intensidade luminosa. A temperatura ideal para a germinação é de 32°C e para o crescimento a temperatura ideal situa-se entre 20 e 28°C. Na fase de maturação a temperatura ótima varia de 12 a 20°C e influencia nos teores de sacarose da cana-de-açúcar (CASTRO e ANDRADE, 2007).

## 2.2 Caldo de cana-de-açúcar e sua composição

O caldo de cana-de-açúcar é considerado um líquido viscoso, de aparência opaca e cor amarelo esverdeado, de composição química bastante complexa e variável. É constituído basicamente por água (80%) e sólidos totais dissolvidos (20%). Dos sólidos totais destacam-se os açúcares: sacarose (17%), glicose (0,4%), e frutose (0,2%); os não açúcares orgânicos, constituídos por substâncias nitrogenadas, gorduras, ceras, pectinas, ácidos orgânicos e matérias corantes; e os não açúcares inorgânicos, representados pelas cinzas (MENEZES, 2012).

### 2.2.1 Açúcares

Os açúcares, também chamados de carboidratos, são uma classe de substâncias químicas e como o próprio nome já indica são hidratos de carbono, cuja fórmula geral para muitos deles é  $C_n(H_2O)_n$ . A forma mais comum de açúcar consiste em sacarose no estado sólido e cristalino. A sacarose é um dissacarídeo conhecido desde o ano 200 a.C., podendo ser considerado como um dos carboidratos cristalinos mais abundante na natureza. A fórmula química da sacarose é  $C_{12}H_{22}O_{11}$  e é formada através da condensação da glicose e da frutose, conforme figura 2.

A condensação é a união desses compostos com a perda de uma molécula de água. Visto que existem isômeros da glicose e da frutose (formas  $\alpha$  e  $\beta$ ), também se obtém isômeros da sacarose. É produzido em larga escala por diversos países principalmente o Brasil. Em meio ácido a sacarose sofre hidrólise produzindo uma mistura equimolar de D-glicose (aldose) e D-frutose (cetose), conhecida como açúcar invertido (AGUIAR, 2016).

Sendo o carboidrato (sacarose) de maior interesse no processamento da cana-de-açúcar, a qual se deseja obter na forma cristalizada, é susceptível a reações importantes. Dentre as quais, podem ser citadas, as reações de decomposição em meio ácido e básico, por efeito da temperatura, enzimas e microorganismos (MANTELATTO, 2005).

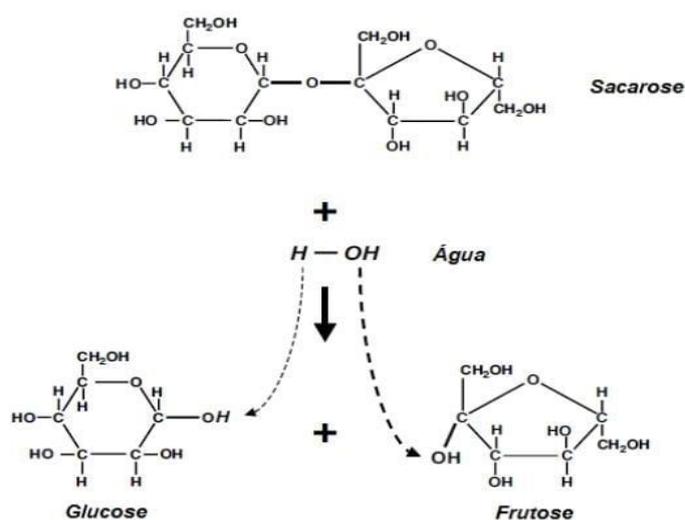


Figura 2: Síntese de desidratação da molécula de sacarose (In: VADUZ, 2021).

## 2.3 Tratamento da cana-de-açúcar para produção de açúcar VHP

Basicamente a produção de açúcar se inicia na extração. Após a moagem, o caldo proveniente desta extração é passado por várias etapas como clarificação do caldo, evaporação, cozimento, centrifugação e armazenagem. A figura 3 apresenta um fluxograma de um tratamento de caldo

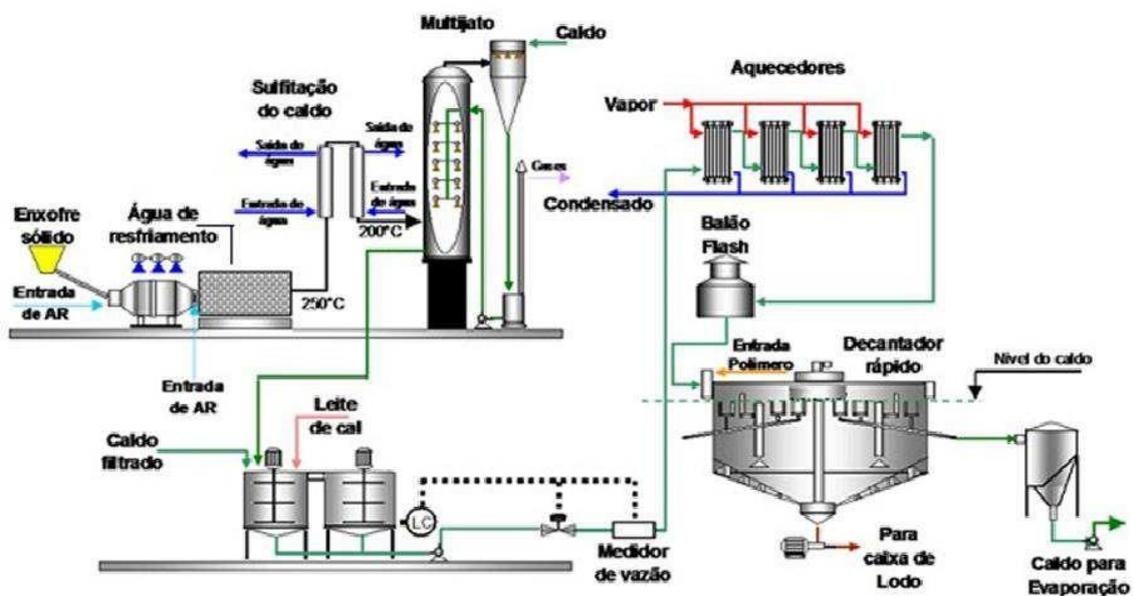
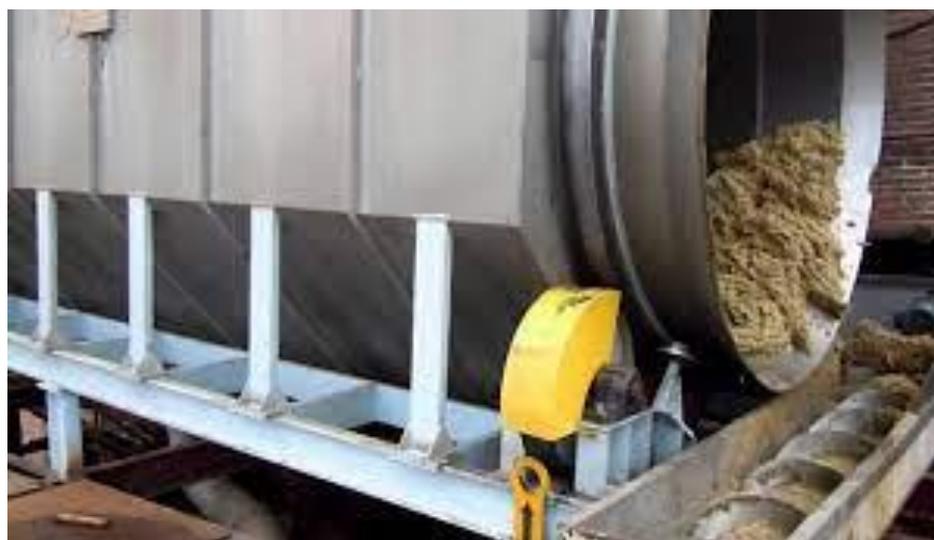


Figura 3: Fluxograma de um tratamento de caldo (In: LIMA, 2012)

Após a extração o caldo inicia seu processo no peneiramento para eliminação de impurezas grosseiras (bagacilho, areia), que aumentam o desgaste dos equipamentos e as incrustações, além de diminuir a capacidade de produção. Tem como objetivo remover os materiais em suspensão, os equipamentos utilizados são peneiras e hidrociclones, os quais conseguem eficiência de 70% a 85% da diminuição de sólidos presentes no caldo, dependendo do teor de sólidos na alimentação, variedade de cana, grau de preparo, condições climáticas etc. As figuras 4 e 5 apresentam as peneiras estáticas e rotativas, mais comumente usadas nestas etapas (LIMA, 2012).



**Figura 4:** Peneira estática (In: Planta Industrial, 2023).



**Figura 5:** Peneira Rotativa (In: Planta Industrial, 2023).

Após o peneiramento é realizada a calagem ou defecação simples. Esta consiste na adição

de cal hidratada (leite de cal), suficiente para neutralizar os ácidos orgânicos presentes no caldo. Em geral nas usinas é utilizados 500g a 800g de cal por tonelada de cana moída, de modo a obter o pH do caldo caleado entre 7,0 a 7,2. O tratamento de caldo com leite de cal provoca a floculação e favorece a decantação das impurezas presentes no caldo, para isso o cal precisa ser preparado. Para a utilização do CaO no processo de fabricação ele deve ser hidratado em água numa temperatura de até 95°C para formar o hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$ , também conhecido como leite de cal (AGUIAR, 2016).

Após a calagem ocorre o aquecimento do caldo de 103 a 105° C. Este aquecimento, reduz um pouco a contaminação microbiana devido ao baixo tempo de exposição, mas também utilizado para completar reações químicas com o agente alcalinizante, coagular, flocular as impurezas insolúveis e remover os gases. Para aquecer o caldo, utilizam-se normalmente aquecedores verticais, horizontais, tubulares (Figura 6) (SANTOS, 2010).

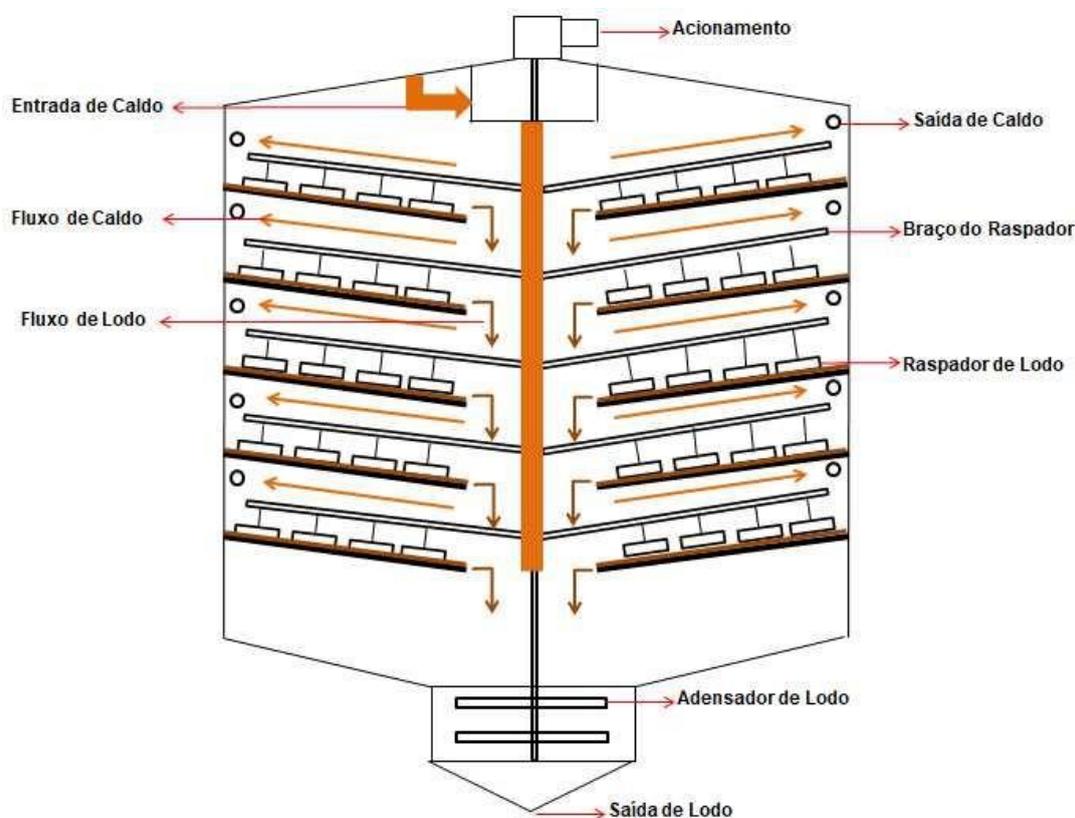


**Figura 6:** Aquecedor tubular horizontal (In: Planta Industrial, 2023).

Seguido do aquecimento, vem a etapa de decantação que é um processo de separação de misturas heterogêneas no qual o material sólido irá se depositar no fundo do decantador através da ação da gravidade. O caldo possui materiais que são indesejáveis no processo de produção de açúcar. Por se tratarem de partículas sólidas, o processo de decantação irá eliminar grande parte desses materiais indesejados (AGUIAR, 2016).

Existem três tipos de decantadores que são comuns na clarificação do caldo, o mais utilizado é o decantador convencional e depois temos o decantador rápido e o decantador semirrápido. O decantador convencional é formado por bandejas contendo raspadores, o caldo é alimentado no centro do decantador e direcionado para as bandejas onde ocorrerá a sedimentação. O caldo clarificado é retirado por serpentinas que se encontram em todas as bandejas e o material sedimentado (lodo) é arrastado pelos raspadores até o centro do decantador para ser retirado pelo fundo. O adensador de lodo localizado na parte inferior do decantador tem o objetivo de manter o lodo sobre movimentação para facilitar a extração pelo fundo do equipamento (LIMA, ESTEVES JUNIOR, CASTILHO, 2022).

De acordo com o mesmo autor o decantador convencional (Figura 7) possui o maior tempo de retenção entre os três modelos, podendo chegar à duas horas e meia. Este modelo de equipamento possui um menor consumo de polímero por possuir um alto tempo de retenção, mas em contrapartida, o caldo fica mais tempo exposto à alta temperatura aumentando assim o grau de degradação térmica dos açúcares.

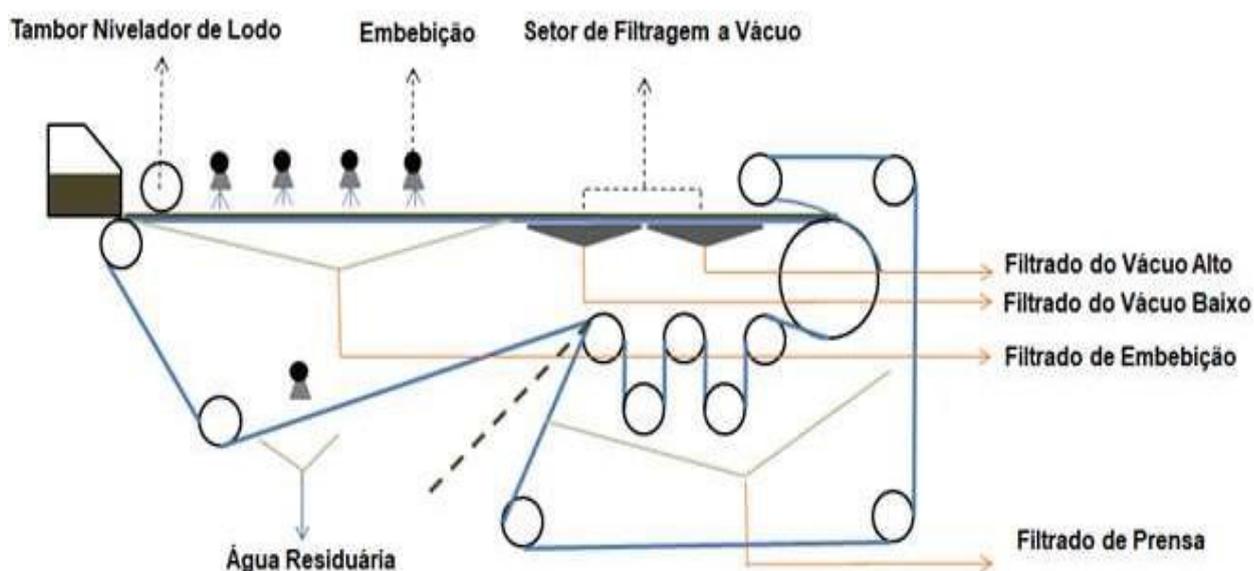


**Figura 7** - Decantador Convencional (In: Arquivo Industrial)

A temperatura do caldo durante a decantação permanece entre 95°C e 98°C. Estes valores

de temperaturas favorecem a degradação térmica do açúcar, por isso a importância de efetuar uma decantação com baixo tempo de retenção, porém, sem perder a eficiência da clarificação. A degradação térmica pode ser percebida a partir da queda de pH ou queda de pureza. O aumento da temperatura assim como o aumento do tempo de exposição dos açúcares a altas temperaturas intensifica a deterioração dos açúcares e um dos produtos destas transformações são alguns tipos de ácidos orgânicos. Claramente que a presença de ácidos oriundos da degradação irá derrubar o pH do meio ao mesmo tempo que a deterioração da sacarose irá derrubar a pureza do caldo. Durante a decantação, é importante que se faça o acompanhamento da queda de pH e pureza do caldo. Recomenda-se evitar quedas de pH maiores que 0,3 pontos e quedas de pureza maiores que 0,2 pontos (LIMA, 2012).

Após a decantação, o caldo passa pelo filtro prensa (Figura 8). Este é composto por duas telas que atuam como meios filtrantes e como transportadores de lodo além de auxiliarem na prensagem para extração do caldo filtrado. As telas são fixadas entre os rolos que compõem a estrutura do filtro e alguns destes rolos são dotados de acionamentos para movimentar as telas (LIMA, 2017).



**Figura 8:** Projeção de um Filtro Prensa (In: Arquivo Industrial)

Atualmente existe três tipos de decantadores, o rápido, semi- rápido e convencional, seu

diferencial são suas bandejas e seu tempo de retenção, logo é adicionado o polímero para se iniciar o processo dentro do decantador. É um processo fundamental no tratamento de caldo de cana de açúcar que consiste no ato de separar, por meio da gravidade, pelo movimento descendente das partículas suspensas em meio líquido, propiciando a clarificação do caldo. Após ser tratado e clarificado o caldo passa pela evaporação, em seguida, o caldo de cana fica praticamente transparente, levemente amarelado. Nele tem água, sais minerais e açúcares. Esta água precisa ser evaporada para transformá-lo em um xarope concentrado, com aproximadamente 65° brix (% de sólidos solúveis) para ser enviado ao cozimento. Neste momento é realizado um novo aquecimento para a cristalização e recuperação de 80% a 85% da sacarose que estão no xarope que vira uma massa e é centrifugada para ficar homogênea, em seguida esta massa passa por um novo cozimento para a granagem final dos cristais de açúcar (LIMA, 2017).

Com os açúcares já formados, é necessário separar os méis dos cristais, com água e vapor. O açúcar é centrifugado para que seja separado do mel, subproduto que resultará na fabricação do etanol. E por último mais não menos importante a secagem para que os cristais sejam comercializados, a tecnologia já criou várias máquinas preparadas para secar a massa e transformar o açúcar conforme conhecemos hoje. O tradicional açúcar branco ao final deste processo é ensacado e armazenado em estoque (FERNANDES, 2003).

### **3. POLIACRILAMIDA**

Na indústria sucroalcooleira, os polímeros são utilizados para melhorar a eficiência e a qualidade dos processos industriais, como exemplo temos a poliacrilamida. Esse polímero é adicionado ao caldo de cana durante o processo de clarificação, onde atua como um agente floculante. Ele ajuda a aglomerar as impurezas presentes no caldo, como partículas de terra, bagacilho e outras substâncias insolúveis, formando flocos maiores que podem ser facilmente removidos por processos de sedimentação ou filtração. Isso resulta em um caldo mais limpo e transparente, melhorando a eficiência dos processos subsequentes de evaporação, cristalização e fermentação (LIMA, 2017).

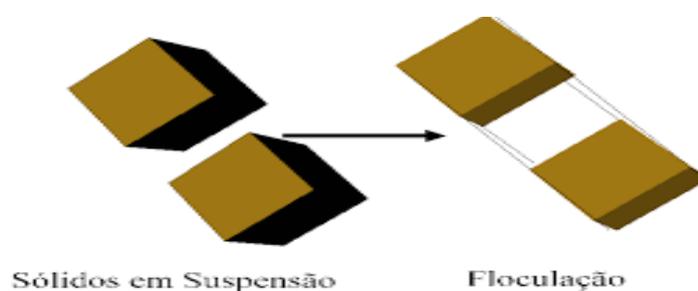
Os polímeros também podem ser utilizados na indústria sucroalcooleira para melhorar a qualidade do açúcar produzido. Por exemplo, polímeros catiônicos podem ser adicionados

ao processo de clarificação para ajudar a remover corantes e outras impurezas que afetam a cor do açúcar. Esses polímeros têm a capacidade de se ligar a essas impurezas e facilitar sua remoção durante os processos de filtração (LIMA, 2017).

Nos últimos cinco anos, temos observado uma ampla variedade de polímeros naturais e sintéticos sendo utilizados em diferentes setores. Como exemplos de polímeros naturais, destacamos as proteínas, formadas pela junção de vários aminoácidos, e o amido, com seu monômero sendo a molécula de alfa-glicose. No campo dos polímeros sintéticos, encontramos diversas opções populares, como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila (PVC), poliestireno, poliacrilamida e poliaminas quaternárias. Esses materiais têm sido amplamente aplicados na indústria devido à sua versatilidade, durabilidade e baixo custo de produção (BARBALHO, 2017).

A densidade de cargas de um polímero confere a ele uma fibra de cargas, podendo ser aniônico, catiônico ou neutro. Em temperatura e/ou pH elevados, surgem novas referências atualizadas que mostram que o grupo amida da poliacrilamida sofre hidrólise, resultando em grupos carboxilatos que conferem anionicidade a essa molécula. É importante ressaltar que pesquisas recentes revelaram que a hidrólise também pode quebrar a cadeia polimérica em porções menores, o que reduz sua eficiência em relação à cadeia de uma molécula (LIMA, 2017).

A poliacrilamida interage eletrostaticamente com algumas impurezas do caldo, podendo ser dispersões ou flóculos formados durante a calagem. Esta interação permite a união dos flóculos resultando em partículas ainda maiores. Esta aglomeração de partículas ocorre através de reações que utilizam pontes salinas entre o polieletrólito e os flóculos. A figura 9 ilustra a interação existente entre os flóculos presentes no caldo e o polímero (VADUZ, 2021).



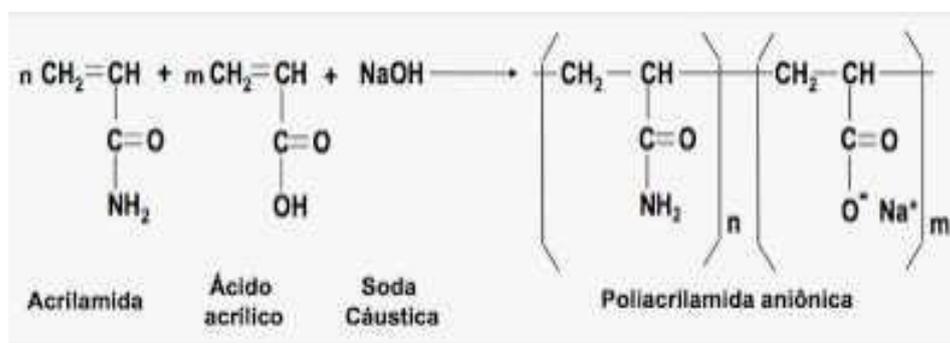
**Figura 9:** Interação entre os polímeros e materiais em suspensão ((In: Autor, 2023)

### 3.1 POLIMERO ANIÔNICO

Os polímeros aniônicos são aqueles que possuem grupos funcionais que podem ionizar e liberar íons negativos quando estão em solução aquosa. Esses polímeros são amplamente utilizados em processos de tratamento de água e efluentes, pois possuem a capacidade de se ligar a íons metálicos e outras partículas carregadas positivamente, formando complexos insolúveis que podem ser facilmente removidos por processos de sedimentação ou filtração (VADUZ, 2021).

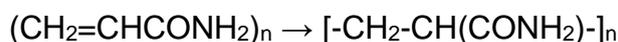
Em condições de temperatura e/ou pH elevados, o grupo amida presente na poliacrilamida pode sofrer hidrólise. Isso resulta na quebra da cadeia polimérica em porções menores e na formação de grupos carboxilatos, conferindo anionicidade à molécula. Essa anionicidade permite que a poliacrilamida interaja com partículas carregadas positivamente, facilitando sua remoção durante os processos de tratamento (CHEN, 2015).

No entanto, é importante ressaltar que a hidrólise da poliacrilamida também pode levar à diminuição da eficiência do polímero. A quebra da cadeia polimérica em porções menores reduz sua capacidade de formar flocos maiores e mais densos, o que pode afetar a eficácia do processo de sedimentação ou filtração. Portanto, é necessário encontrar um equilíbrio entre a carga do polímero e as condições de temperatura e pH para garantir a eficiência do tratamento. Além disso, é importante considerar a estabilidade da poliacrilamida em diferentes condições para evitar a hidrólise excessiva e a perda de desempenho do polímero (CHEN, 2015). Na figura 10 está representada a reação química mais comum para a produção da poliacrilamida aniônica.



**Figura 10:** Representação da reação química de produção da poliacrilamida  
(In:CHEN, 2015)

A poliacrilamida é um polímero sintético que é produzido a partir da reação química de polimerização do monômero acrilamida. A reação de produção da poliacrilamida pode ser representada da seguinte forma:



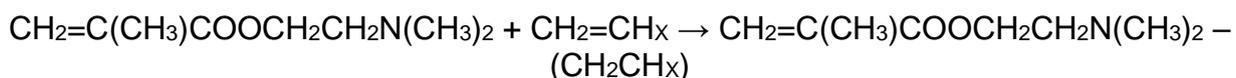
Nessa reação, o monômero acrilamida -  $\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2$ , sofre uma reação de polimerização, na qual as ligações duplas entre os átomos de carbono são quebradas e os monômeros se ligam uns aos outros, formando uma cadeia polimérica. O símbolo "n" indica que a reação ocorre repetidamente, formando uma cadeia longa e ramificada de poliacrilamida. É importante ressaltar que a reação de polimerização da acrilamida geralmente é realizada em presença de um iniciador, como o persulfato de amônio, e um agente de reticulação, como o N,N'-metilenobisacrilamida. Esses componentes auxiliam na formação da estrutura tridimensional da poliacrilamida, conferindo-lhe propriedades específicas (NUNES, 2012).

A poliacrilamida é amplamente utilizada em diversas aplicações industriais, como tratamento de água e efluentes, produção de papel, exploração de petróleo, agricultura, entre outras. Sua versatilidade e propriedades únicas são resultado da estrutura química da poliacrilamida, que pode ser modificada para atender às necessidades específicas de cada aplicação. As poliacrilamidas aniônicas estão em conformidade com o FDA (Food and Drug Administration) e, portanto, podem ser utilizadas na produção de açúcar, sem quaisquer restrições. Tendo apenas que possuir um residual de monômero de acrilamida livre < 500 ppm (LIMA, 2017)

### 3.2 POLIMERO CATIÔNICO

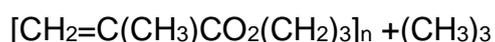
A poliacrilamida catiônica é uma variante que possui grupos funcionais catiônicos em sua estrutura. Esses grupos catiônicos são introduzidos durante a reação de polimerização da acrilamida, através da incorporação de um monômero catiônico, como o cloreto de dialildimetilamônio (DADMAC) ou cloreto de metacrilamidopropiltrimetilamônio (MAPTAC) (ARAÚJO, 2019).

A copolimerização com DADMAC pode ser representada quimicamente da forma:

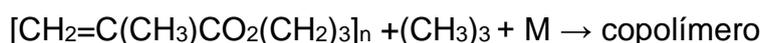


O DADMAC é copolimerizado com um monômero contendo uma dupla ligação, resultando em um copolímero onde as unidades de DADMAC estão ligadas às unidades do monômero (ARAÚJO, 2019).

A copolimerização com MAPTAC geralmente é representado da seguinte forma:

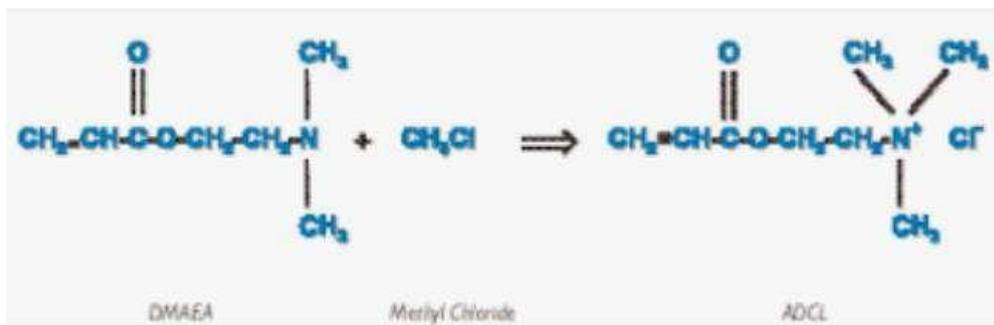


O monômero utilizado pode variar dependendo da aplicação desejada. Usando um monômero genérico representado como "M" pode-se representar a reação da seguinte maneira:



A reação ocorre através de ligações covalentes entre os monômeros, formando um copolímero que contém unidades repetitivas de ambos os monômeros. A representação química pode variar dependendo do monômero específico utilizado. Os grupos catiônicos do MAPTAC são incorporados à cadeia polimérica, resultando na formação da poliacrilamida catiônica (ARAÚJO, 2019).

Essas reações de copolimerização ocorrem durante a polimerização da acrilamida, utilizando um iniciador e um agente de reticulação, da mesma forma que na produção da poliacrilamida convencional. A presença dos grupos catiônicos confere à poliacrilamida catiônica propriedades específicas, como a capacidade de adsorver eletrostaticamente partículas carregadas negativamente, sendo amplamente utilizada em processos de tratamento de água e efluentes (LIMA, 2017). Estas reações estão representadas na Figura 11.



**Figura 11:** Representação das reações químicas de produção da poliacrilamida catiônica (In: LIMA, 2017)

A hidrólise deste tipo de polímero reduz sua eficiência pelo fato de que são criados polímeros anfóteros e então polímeros aniônicos. Por isso é essencial preparar estes polímeros com pH próximo de 5,5, apesar de a floculação acontecer em pH mais alto (LIMA, 2017)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Testes em laboratoriais foram realizados para visualizar e selecionar o modelo de concentração que possui um melhor desempenho com base na decantação. Uma das técnicas utilizadas em laboratório foi a simulação de decantação pelo método clari-test que proporciona melhor visibilidade do processo e arranjo nas dosagens.

### **4.1 SIMULAÇÃO DE DECANTAÇÃO**

As análises foram realizadas no laboratório industrial de uma usina no município de Bora-SP.

Para realização do primeiro teste de decantação em laboratório, primeiramente foi preparada as solução do polímero em concentração, 0,02%, 0,05% e 0,10%. descritas detalhadamente a seguir;

#### **4.1.1 Preparo das Soluções de Polímeros**

O preparo da solução com concentração de 0,02% foi realizado adicionando-se 0,040g de polímero aniônico em um becker 500mL com 200mL de água em 30°C sobe agitação em cuba com rotação de 5 RPM. A solução 0,05%, foi preparada pela dissolução de 0,100g de polímero aniônico em becker 500mL com 200mL de água em 30°C sobe agitação em cuba com rotação de 5 RPM. A solução 0,10% foi preparada adicionando-se 0,200g de polímero aniônico em becker 500mL com 200mL de água em 30°C sobe agitação em cuba com rotação de 5 RPM. Estas soluções foram deixadas por 50 minutos em agitação para abertura da cadeia polimérica, em seguida deixado em repouso por 30min antes da aplicação.

#### **4.1.2 Coleta de amostra de Caldo**

A amostra de caldo foi coletada após sair do último aquecedor em 107°C e o seu pH e graus brix analisados.

#### **4.1.3 Análise do Potencial Hidrogenionico (pH) do Caldo**

A amostra de caldo foi coletada com 107°C para leitura foi deixada resfriar a temperatura ambiente de 30°C. O equipamento utilizado foi pHmetro de bancada Marte Modelo Mb10 previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. As análises foram feitas em triplicata.

#### **4.1.4 Análise do Brix do Caldo**

Para análise do °Brix foi utilizado um refratômetro de bancada automático digital, com faixa de leitura entre 0 e 95%, modelo Smart Atago. O equipamento foi previamente calibrado e testado com água desmineralizada.

As amostras foram deixadas em repouso até a temperatura ambiente de 30°C e posteriormente foi realizada leitura no aparelho.

As análises foram feitas em triplicata.

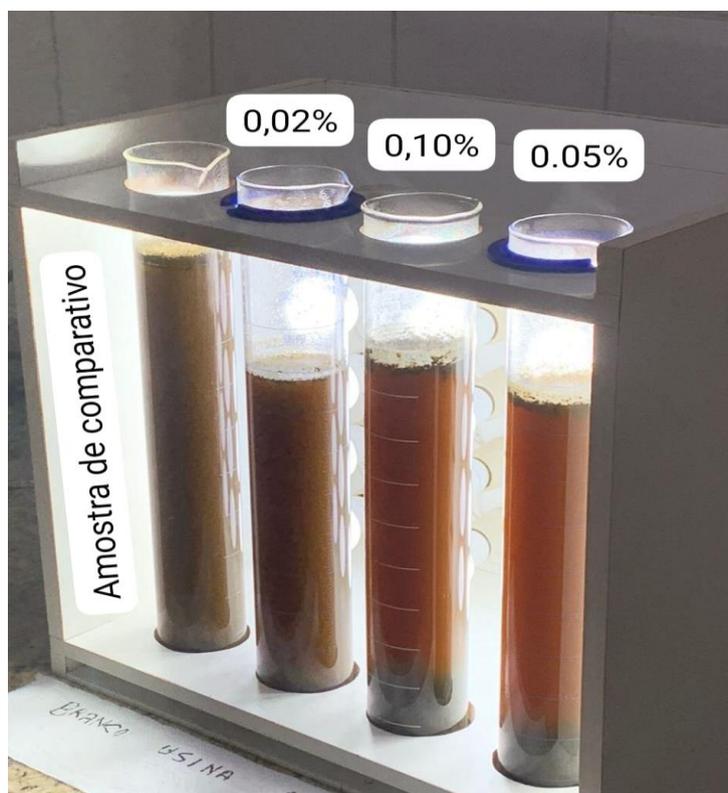
#### **4.1.4 Realização do Claritest**

A amostra foi deixada sobre agitação em cuba a 10rpm por 15 segundos para que não houvesse a queima e que ocorresse o flasheamento, com a eliminação de bolhas de ar. Após este procedimento foram realizadas as dosagens com polímero no sistema de Clari-Test, com 4 provetas de teste (Figura 12).

Foram transferidos em seringas os volumes desejados de cada concentração de polímero nas provetas e em seguida adicionado o caldo até a homogeneização e formação dos

flocos, por cerca de trinta segundos. Após cessar observou-se a velocidade de decantação e o tamanho dos flocos formados.

As análises foram feitas em triplicata.



**Figura 12:** Realização do Claritest (In: Laboratório Industrial, 2023)

#### 4.1.6 Análise da Turbidez no Caldo Clarificado

A análise de turbidez do caldo clarificado foi realizada em um turbidímetro de bancada modelo TL2300 com lâmpada de tungstênio, faixa de 0 a 4000 NTU.

Uma amostra do caldo clarificado foi coletada e deixada para resfriar a temperatura ambiente de 30°C.

O turbidímetro foi calibrado utilizando uma solução padrão de turbidez StablCal. Depois as amostras preparadas são colocadas na célula de medição e foi realizada a leitura do valor da turbidez em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

As análises foram feitas em triplicata.

#### **4.1.7 Análise da Transmitância no Caldo Clarificado**

A transmitância foi analisada em um espectrofotômetro modelo DR3900 visível Bivolt Cal RBC com Lâmpada halógena (Tungstênio) e Faixa de Comprimento Onda: 320 - 1100 nm. A calibração é feita automaticamente.

As amostras deixadas para resfriar a temperatura ambiente de 30°C foram preparadas e certificadas de que estivessem limpas e livres de partículas ou impurezas que pudessem afetar a leitura. Após ligar o espectrofotômetro e ajustar sua medida em transmitância, as amostras foram colocadas na célula de quartzo e inseridas no compartimento de amostras para leitura.

As análises foram feitas em triplicata.

#### **4.1.7 Análise da Cor no Caldo Clarificado**

A cor foi analisada em um espectrofotômetro modelo DR3900 visível Bivolt Cal RBC com lâmpada halógena (tungstênio) e faixa de comprimento onda: 320 - 1100 nm. A calibração é feita automaticamente.

As amostras deixadas para resfriar a temperatura ambiente de 30°C são preparadas e certificadas que estejam limpas e livres de partículas ou impurezas que possam afetar a leitura. Após ligar o espectrofotômetro e ajustar sua medida em absorvância na faixa de 420 - 480 nm, as amostras foram colocadas na célula de quartzo e inseridas no compartimento de amostras para leitura.

Após resultado em absorvância os valores foram submetidos a um cálculo para conversão em Cor INCUMSA (U.I): 
$$= (\text{Absorvância} - \text{Absorvância de referência}) / \text{Fator de conversão}.$$
 Este foi realizado automaticamente pelo aparelho.

As análises foram feitas em triplicata.

## **4.2 Filtro prensa - Aplicação**

O teste do filtro prensa foi realizado para recuperar a sacarose retida no lodo de decantação. Foi preparado a solução polimérica na concentração de 0,1%, de 8,0kgs em 8000m<sup>3</sup> de um tanque na planta. Após a abertura da cadeia polimérica ter sido concluída iniciou-se a operação do filtro prensa com capacidades e operações de trabalho.

Antes de chegar ao filtro prensa o lodo é submetido a um misturador retro-estático juntamente com a adição do polímero. O lodo sedimentado foi embebido com água da evaporação e passado por galerias a vácuo para retirada da maior parte da umidade. Depois foi submetido a prensagens para esmagamento e remoção dos líquidos ainda presentes.

A torta foi recolhida e direcionada para agrícola que será, após terem sido quantificados os açúcares presentes, pH, graus Brix e porcentagem de sólidos.

O caldo filtrado foi analisado para determinar o valor recuperado a ser reprocessado.

A água de embebição foi analisada quanto a temperatura, pH e pol, para determinar a quantidade de açúcares presentes.

Após estas análises foram realizadas comparações com o que se estabelece para a faixa de trabalho da planta.

### **4.2.1 A análise de POL**

As amostras foram coletadas foram preparadas e deixadas para esfriar a temperatura ambiente de 30°C e de acordo com os procedimentos recomendados incluiu-ser a filtração do caldo e/ou torta e a diluição. Depois é realizada a leitura da Pol em um sacarímetro digital automático SDA série 5900, previamente calibrado. O valor da Pol é lido diretamente na escala do aparelho

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os resultados do pH e brix do caldo utilizado para o teste de clarificação.

<b>Caldo</b>	<b>pH</b>	<b>° Brix</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
	7,1	16,14	107

**Tabela 1:** Resultados das Análises do caldo após aquecimento

Os resultados obtidos da análise do caldo apresentam estar em conformidade ao esperado pela literatura: pH entre 6,8 – 7,2; °Brix 16 – 18; temperatura 102 – 110 °C (LIMA, 2017).

A tabela 2 mostra os resultados de turbidez, transmitância e cor ICUMSA, no caldo clarificado.

<b>Teste Clari-test</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Transmitância (%)</b>	<b>Cor ICUMSA (UI)</b>
<b>Caldo não clarificado</b>	358,09	0,78	26678,32
<b>Caldo clarificado com 0,02% de polímero</b>	36,38	9,16	18825,23
<b>Caldo clarificado com 0,05% de polímero</b>	19,76	41,13	14564,56
<b>Caldo clarificado com 0,10% de polímero</b>	24,76	36,86	15766,39

**Tabela 2:** Resultados de turbidez, transmitância e cor ICUMSA, no caldo clarificado.

Observa-se que no tratamento realizado com polímero a 0,05% de concentração obteve-se melhor performance.

Quando se utilizou a dosagem de 0,10% de polímero o resultado foi bom, entretanto o custo benefício não favorece esta aplicação. A concentração de 0,02% do polímero aniônico não apresentou um bom resultado comparado aos demais.

Os resultados obtidos no Claritest, foram usados para aplicação na planta industrial, sendo 3 horas. Posteriormente foram realizadas as análises de turbidez, transmitância e cor no caldo tratado e os resultados estão apresentados na tabela 3.

Teste Industrial	Turbidez (NTU)	Transmitância (%)	Cor ICUMSA (UI)
<b>Caldo não clarificado</b>	343,48	0,92	2539,45
<b>1 hora</b>	21,23	38,76	15735,98
<b>2 horas</b>	15,74	47,49	12564,58
<b>3 horas</b>	13,5	49,84	9356,71

**Tabela 3:** Resultados de turbidez, transmitância e cor ICUMSA, no caldo clarificado em teste realizado na planta industrial.

Observou-se um ótimo desempenho da concentração de 0,05% em teste com Claritest no laboratório, porém sua aplicação na planta industrial apresentou resultados ainda acima do esperado em turbidez, transmitância e na cor do caldo clarificado, demonstrado na figura 12.



**Figura 12:** Teste visual da eficiência da metodologia (In: Planta Industrial, 2023)

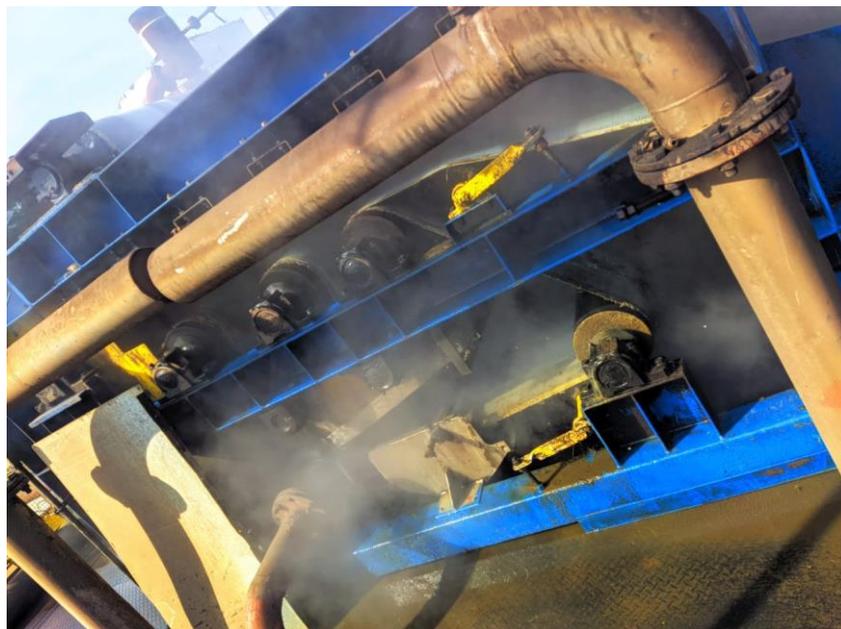
Por ser uma análise contínua observou-se melhoria nas variáveis como a diminuição da turbidez e aumento da transmitância, indicando um caldo mais claro, com menor presença de impurezas. Isso é importante para a qualidade do produto final e para evitar problemas operacionais nas etapas subsequentes do processo, além da diminuição da Cor INCUMSA (U.I) que é nossa referencia de qualidade do produto final.



**Figura 13:** Cor visual do produto final antes e após metodologia (In: Planta Industrial, As figuras 14, 15 e 16 mostram a solução de polímero juntamente com a qualidade de seu preparo e também a operação em andamento no teste de filtro prensa.



**Figura 14:** Solução de polímero usado no teste do filtro prensa (In: Planta Industrial, 2023).



**Figura 15:** Filtro prensa em operação (In: Planta Industrial, 2023).



**Figura 16:** Análise visual da secagem da torta de filtro (In: Planta Industrial, 2023).

As tabelas 4, 5 e 6 mostram os resultados das análises realizadas na água de embebição, caldo filtrado e torta de lodo.

**Tabela 4:** Análise de temperatura, pH e Pol na água de embebição

ÁGUA DE EMBEBIÇÃO	TEMPERATURA	PH	POL
FAIXA DE TRABALHO	75°–85°	5,0 – 6,0	0,25 – 0,35
1 HORA	82°	5,12	0,27
2 HORAS	78°	5,87	0,23
3 HORAS	84°	5,43	0,25

**Tabela 5:** Análise de concentração, pH e brix no caldo filtrado.

CALDO FILTRADO	CONCENTRAÇÃO	PH	°BRIX
FAIXA DE TRABALHO	10% – 20%	6,2 – 7	8 – 14
1 HORA	12%	6,34	12,4
2 HORAS	17%	6,45	11,0
3 HORAS	13%	6,71	13,2

**Tabela 6:** Análise de concetração, umidade pH e Pol na torra de lodo

TORTA DE LODO	CONCENTRAÇÃO	UMIDADE	PH	POL
FAIXA DE TRABALHO	45% – 55%	25g//m <sup>3</sup> – 45g//m <sup>3</sup>	6,8 – 7,1	< 1,5
1 HORA	53%	37g/m <sup>3</sup>	6.98	0,88
2 HORAS	55%	33g/m <sup>3</sup>	7.0	0,94
3 HORAS	57%	35g/m <sup>3</sup>	6.89	1,02

As análises realizadas na água de embebição, caldo filtrado e torta de lodo, mostraram-se estar dentro da faixa de trabalho da planta industrial.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram avaliados os parâmetros físico-químicos como pH de toda amostra, turbidez, Brix, concentração do lodo, concentração de caldo filtrado, pol da torta e água de embebição, umidade da torta e temperatura realizados no caldo tratado por polímeros, comparando os mesmos com os parâmetros iniciais de qualidade do caldo que chega à usina

Foram obtidos ótimos resultados na aplicação do polímero aniônico para a decantação, ultrapassando as expectativas industriais em 10% da transmitância para a fabricação de açúcar VHP.

Com os testes chegou-se a valores de Cor ICUMSA entre 450 e 600, o que possibilitou a diminuição de alguns parâmetros de fabricação, como adição de cal e uso de valores mínimos de água de lavagem dos açúcares, representando uma diminuição de custo para a indústria.

Partindo para a recuperação da sacarose na torta de filtro, notou-se que o valor estipulado é o dobro para o filtro prensa do que foi alcançado aqui, com resultados de Pol menor que 1,5 e umidade menor que 50g/m<sup>3</sup>. Foram obtidos também bons resultados no brix do caldo filtrado que voltou para o processo.

A partir dos resultados aqui alcançados a indústria começou a trabalhar com os números nas dosagens de polímero acrilamida aniônico e catiônico obtidos pelo experimento

## 7. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Cláudio. **TRATAMENTO E PURIFICAÇÃO DO CALDO**, Sacarotecnia - Tecnologia do Açúcar, 2016.
- ANDRADE, Cristina T., COUTINHO, Fernanda M. B., DIAS, Marcos L., LUCAS, Elizabete F., OLIVEIRA, Clara Marize F., TABAK, David. **Dicionário de Polímeros**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- ANDRADE, L. A. B. **Cultura da Cana-de-açúcar**. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). Produção artesanal de aguardente. Lavras: UFLA, 2001.
- ARAÚJO, Arthur Tadeu F. A. **Produção e caracterização de polieletrólitos catiônicos derivados da celulose**. 2019. 28f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.
- ARAÚJO, F. A. D. **Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação**. Revista Ciências e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 1- 6, 2007.
- BARBALHO, Vanessa. R. C. M. **REMOÇÃO DO Cd<sup>2+</sup> DE EFLUENTE SINTÉTICO UTILIZANDO POLÍMEROS ANIÔNICOS A BASE DE ACRILAMIDA**, Dissertação (Mestrado) Eng. Química, Centro de tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Natal, 2017.
- BARBANTI, Samuel H., ZAVAGLIA, Cecília A. C., DUEK, Eliana A. R., **Polímeros Bioreabsorvíveis na Engenharia de Tecidos**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 15, n. 1, p. 13-21, 2005.
- CASTRO, S. B. de; ANDRADE, S. A. C. **Tecnologia do Açúcar**. Recife:Universitária UFPE, 2007.
- CHEN, G. (2015). **Polyacrylamide Applications in Wastewater Treatment**. In Environmental Materials and Waste (pp. 1-27). Elsevier.
- CUNHA, Márcia Valéria, **IMPORTÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE DESCARTE DE LODO NA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE AGUA EM CICLO COMPLETO**, Dissertação (Mestrado); Universidade Federal do Pará: Programa de Pós - Graduação em engenharia civil, Belém, 2004.
- COOPERSUCAR. **Fundamentos de processamento de açúcar e álcool**, Piracicaba: CTC, CD ROM, 2004.
- DELGADO, A. A.; AZEREDO CÉSAR, M. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Vol. II. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977.

ENGENHO NOVO. **Clarificação de xarope por flotação**. TecEn Comercial: Rio de Janeiro, 2008a. 7p.

FERNANDES, Antônio Carlos. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas, TIPOS DE DISPERSÕES. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/tipos-dispersoes.htm>>. Acesso em: Março. 2023.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. "**Proálcool**"; Brasil Escola. Disponível em:<<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/proalcohol.htm>>. Acesso em 13 de abril de 2023.

JUNIOR, Anderson, S. A., AZEVEDO, Diógenes, M. P., VASCONCELOS, Lúcio, F. L., SOUSA, Mara, J. S., VELOSO, Marcos, E. C., **AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE- AÇÚCAR PARA AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE BOA HORA,PI**. Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária - Embrapa Meio-Norte Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Teresina - PI, 2018

JUNIOR, Elias. H. **ASPECTOS HISTÓRICOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA DE POLÍMEROS**, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos; São Carlos, 1998.

LIMA, Antonio Henrique; ESTEVES JUNIOR, Nivaldo Luiz; CASTILHO, Rodrigo Ferrari. Clarificação: Caldo - Xarope - Filtro Prensa - Fuligem. Disponível em: <<http://www.skillsquimica.com.br/>>. Acesso em: Outubro. 2022.

LIMA, C.F. **Utilização de Polímeros no Setor Sucroenergético**. Trabalho de Conclusão de Curso (Gestão de Tecnologia Industrial). Universidade Federal de São Carlos. 2017. Disponível em: <<https://www.mta.ufscar.br/arquivos/publicacoes/sertaozinho-v/camila-franciscooni-lima.pdf>> Acesso em 14, abril. 2023.

LIMA, Roberta. B. **PROCESSOS DE CLARIFICAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR APLICANDO ELÉTRONS**, Dissertação (Mestrado); Tecnologia Nuclear; Autarquia Associada à Universidade de São Paulo; São Paulo, 2012.

MENEZES, João. A. S. **ASPECTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO CALDO DE CANA QUE AFETAM A CAPACIDAD FERMENTATIVA DAS CÉLULAS DE LEVEDURA**, Dissertação (Mestrado); Universidade Federal de Pernambuco: Centro de Ciências Biológicas - Programa de Pós - Graduação em Ciências Biológicas, Recife - PE, 2012.

NUNES, Aquiles Filgueira. **Utilização de polímeros à base de acrilamida na remoção de cobre de meio aquoso**. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

RODRIGUES, L. P.; MORAES, M. A. F. D. **Estrutura de mercado da indústria de refino de açúcar na região Centro-Sul do Brasil**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 45, n. 1, 2007.

SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluizio; CALDAS, Celso. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010.

SILVA, Juliane. S. **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS COMO AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS**, Dissertação (Mestrado) Eng. Química, Universidade Federal do Pará; Bélem, 2012.

SOUZA, Francisca Adriana Fernandes. **Adaptação de Lodo Sanitário e Industrial ao Tratamento do Vinhoto**. 96 p. 2011. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

UNICA Data - Safra (União da Indústria de Cana-de-açúcar). **Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras**. 2022. Disponível em:

< <https://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=4> >. Acesso em: 02/03/2023.

VADUZ, Degani. **Uso de polímero no tratamento de água**. 2021, Disponível EM: <<https://www.deganivaduz.com.br/uso-de-polimeros-no-tratamento-de-agua/>> .Acesso em 10/04/2023.

VILA, F. C. **Identificação dos flavonóides com atividade antioxidante da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.