



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

**Avaliação do Potencial do Líquido da Casca da Castanha de Caju (CNSL) como  
Matéria-Prima Alternativa para a Produção de Tintas Sustentáveis de Base  
Oleosa**

**Autora**

Cugala, Fainesse

**Supervisor**

Prof.º Dr. Eng.º António Cumbane

Maputo, Outubro de 2025



**UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
M O N D L A N E**

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

**Avaliação do Potencial do Líquido da Casca da Castanha de Caju (CNSL) como  
Matéria-Prima Alternativa para a Produção de Tintas Sustentáveis de Base  
Oleosa**

**Autora**

Cugala, Fainesse

**Supervisor**

---

Prof. Dr. Eng.º António Cumbane

Maputo, Outubro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

### **TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante Fainesse Cugala entregou no dia \_\_\_/10/2025, as 04 cópias do seu relatório de Trabalho de Licenciatura com referência \_\_\_\_\_, intitulado: Avaliação do Potencial do Líquido da Casca da Castanha de Caju (CNSL) como Matéria-Prima Alternativa para a Produção de Tintas Sustentáveis de Base Oleosa.

Maputo, \_\_\_\_ de Outubro de 2025

O Chefe da Secretaria

---



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

### **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro, sob compromisso de honra, que o presente trabalho é da minha autoria, para fins de culminação do curso. Todo o conteúdo do trabalho apresentado foi desenvolvido com base em pesquisas, investigação do referencial teórico e um caso de estudo. As fontes de informação e referências utilizadas foram devidamente citadas e estão de acordo com as normas de citação e referenciação estabelecidas pela faculdade.

Adicionalmente, declaro que este trabalho não foi submetido, no todo ou em parte, em nenhuma outra instituição ou para obtenção de qualquer outro grau académico.

Maputo, \_\_\_\_ de Outubro de 2025

Autora

---

(Fainesse Cugala)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Aíssa Mussa e Domingos Cugala, e as mulheres da minha vida, Aíssa Mussa, Alima Mussa e Sara Aarão.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pela força que me concede diariamente para perseverar na realização dos meus sonhos. Sem a Sua graça, esta conquista não seria possível.

Aos meus pais, Aíssa Mussa e Domingos Cugala, expresso minha eterna gratidão pela dedicação, pelo amor incondicional e por todo o apoio que sempre me ofereceram. Vocês são o alicerce da minha vida e a fonte constante da minha motivação.

Às minhas mães de coração, Alima Mussa e Sara Aarão, agradeço profundamente pelo carinho, acolhimento e cuidado. Obrigada por sempre me tratarem como filha e por estarem presentes em todos os momentos com gestos de amor e generosidade.

Aos meus irmãos e primos, Kayane Cugala, Alima Bernardo, Yves Aarão, Sandro Aarão e Keyon Aarão, sou grata por todo o apoio, pela companhia e pelos sorrisos que tornaram esta caminhada mais leve e cheia de significado.

Ao meu companheiro, agradeço pela paciência, compreensão, carinho e pelo suporte emocional em cada etapa deste percurso. As tuas palavras de incentivo e presença constante foram fundamentais para que eu seguisse firme, mesmo nos momentos mais desafiantes.

Aos meus amigos e colegas Bendita, Daniela e Edna, muito obrigada pela amizade, partilha e encorajamento. A vossa presença fez toda a diferença e recordou-me que nunca estive sozinha nesta trajetória.

Ao meu supervisor, António Cumbane, deixo o meu mais sincero agradecimento pela orientação académica atenta, pela paciência e pelos valiosos contributos oferecidos ao longo desta pesquisa. A sua dedicação foi essencial para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Por fim, a todos que, de forma directa ou indirecta, contribuíram para esta realização, deixo a minha gratidão mais profunda. Cada gesto de apoio teve um papel importante nesta conquista.

## EPÍGRAFE

*“A natureza não desperdiça nada. Cabe a nós aprender com ela a reinventar o uso dos recursos que já temos.”*

Albert Einstein.

## RESUMO

A crescente demanda por soluções ambientalmente sustentáveis tem impulsionado a pesquisa por matérias-primas alternativas na indústria de tintas. O Líquido da Casca da Castanha de Caju (CNSL) destaca-se como um subproduto agroindustrial promissor, devido à sua composição rica em compostos fenólicos e propriedades físico-químicas adequadas à formulação de tintas de base oleosa. O presente estudo teve como principal objectivo avaliar o potencial do CNSL como matéria-prima alternativa para a produção de tintas sustentáveis, por meio da caracterização das suas propriedades químicas e da análise do desempenho das tintas formuladas.

Para atingir os objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), apoiada por procedimentos bibliográficos, laboratoriais e estudo de caso. As análises laboratoriais abrangeram amostras de CNSL bruto e refinado, avaliando parâmetros como densidade, gravidade específica, viscosidade e índice de acidez. Posteriormente, foram formuladas tintas à base de CNSL, cujas propriedades – viscosidade, densidade e tempo de secagem – foram analisadas e comparadas aos padrões recomendados na indústria de revestimentos.

Os resultados revelaram que o CNSL possui características físico-químicas compatíveis com as resinas usadas na formulação de tintas de base oleosa, sobretudo após o processo de refinação. As tintas formuladas demonstraram desempenho técnico satisfatório em termos de viscosidade, com um valor de 64KU e 76KU e formação de película, embora com tempos de secagem de 123,3s e 143,3s, superiores ao ideal, apontando para a necessidade de ajustes na composição com aditivos catalisadores. Ainda assim, o uso do CNSL representa uma alternativa ecologicamente viável, capaz de reduzir a dependência de derivados de petróleo e valorizar resíduos agroindustriais locais.

Diante do exposto, recomenda-se a continuidade dos estudos sobre o aprimoramento da formulação das tintas com CNSL, a aplicação de processos de modificação química do óleo e a realização de testes em escala semi-industrial.

**Palavras-chave:** Tintas sustentáveis; Líquido da casca da castanha de caju; CNSL; Propriedades físico-químicas; Revestimentos ecológicos.

## **ABSTRACT**

The growing demand for environmentally sustainable solutions has driven research into alternative raw materials in the paint industry. Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) stands out as a promising agro-industrial by-product due to its composition rich in phenolic compounds and its physicochemical properties suitable for the formulation of oil-based paints. This study aimed to evaluate the potential of CNSL as an alternative raw material for the production of sustainable paints through the characterization of its chemical properties and the analysis of the performance of CNSL-based paint formulations.

To achieve the proposed objectives, an applied research approach was adopted, employing both qualitative and quantitative methodologies. The study was supported by bibliographic review, laboratory experimentation, and a case study. Laboratory analyses were conducted on both crude and refined CNSL samples, assessing parameters such as density, specific gravity, viscosity, and acid value. Subsequently, paints were formulated using CNSL, and their properties—viscosity, density, and drying time—were analyzed and compared against industry benchmarks for coating materials.

The results revealed that CNSL exhibits physicochemical characteristics compatible with the used resins in oil-based paint formulations, particularly when refined. The formulated paints demonstrated satisfactory technical performance in terms of viscosity and film formation, with values of 64KU and 76KU although with drying times of 123,3s and 143,3s, exceeding industrial standards. This suggests the need for compositional adjustments through the incorporation of drying agents. Nonetheless, CNSL presents a viable ecological alternative, capable of reducing dependency on petroleum derivatives and promoting the valorization of local agro-industrial waste.

In light of these findings, it is recommended that further studies focus on improving CNSL-based formulations, including chemical modification processes and pilot-scale testing. Research initiatives that leverage natural resources can play a crucial role in strengthening the sustainability of the Mozambican coating industry.

**Keywords:** Sustainable paints; Cashew Nut Shell Liquid; CNSL; Physicochemical properties; Eco-friendly coatings

## ÍNDICE

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>EPÍGRAFE.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Problematização .....	2
1.2.1. Pergunta de pesquisa .....	3
1.3. Objectivos .....	4
1.3.1. Objectivo geral .....	4
1.3.2. Objectivos específicos .....	4
1.4. Justificativa.....	4
1.5. Metodologia de pesquisa .....	6
1.6. Estrutura do trabalho.....	8
<b>2. CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
2.1. Cajueiro.....	10
2.1.1. Produção de caju em África.....	11
2.1.2. Produção de caju em Moçambique .....	12
2.2. Líquido da casca da castanha de caju .....	14
2.2.1. Origem e composição .....	15

2.2.2.	Resinas fenólicas.....	19
2.2.2.1.	Fenol.....	20
2.2.2.2.	Aldeído .....	21
2.2.2.3.	Resinas resole.....	22
2.2.2.4.	Resinas novolac.....	24
2.2.3.	Aplicações .....	26
	Pastilhas de travões.....	27
	Vernizes e tintas.....	28
	Resinas para revestimento e adesivos .....	30
2.3.	Tintas .....	32
2.3.1.	Componentes .....	32
2.3.2.	Tipos de tintas.....	35
2.4.	Processo de fabricação das tintas .....	37
2.4.1.	Tinta epóxi .....	38
2.4.2.	Benefícios do uso do DISPERBYK.....	40
2.4.3.	Benefícios do uso de white spirit.....	42
2.4.4.	Funções do Xileno na Produção de Tintas .....	44
2.4.5.	Secante de Cobalto na produção de tintas .....	47
<b>CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL.....</b>		<b>50</b>
3.1.	<b>Materiais e equipamentos .....</b>	<b>50</b>
3.2.	Extração do CNSL .....	51
3.3.	Procedimentos .....	52
<b>CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>		<b>55</b>
4.1.	Caracterização físico-química do CNSL .....	55
4.3.	Formulação das tintas com CNSL .....	58

4.4. Análise das Propriedades das Tintas .....	58
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
5.1. Análise dos Resultados .....	60
5.1.1. Viscosidade das tintas .....	60
5.1.2. Densidade das tintas .....	62
5.2.3. Tempo de secagem das tintas.....	64
<b>CAPÍTULO VI- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>67</b>
6.1. Conclusão .....	67
6.2. Recomendações .....	68
6.3.Constrangimentos.....	69
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>A</b>
<b>I. Anexo I: FORMULAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>II. Anexo II: Exemplo de cálculos da quantidade a partir das percentagens ..</b>	<b>3</b>
<b>III. Anexo III: Equipamentos usados Durante as experiências.....</b>	<b>1</b>
.....	1

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Principais materiais e equipamentos utilizados .....	50
Tabela 2. Resultados médios das tintas formuladas .....	59
Tabela 3. Comparação entre amostras para densidade, viscosidade e tempo de secagem.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 4. Análise da viscosidade da tinta .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 5. Análise da massa volúmica da tinta .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 6. Análise do tempo de secagem da tinta .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caju, com pedúnculo, e castanha.....	11
Figura 2. Produção em toneladas do RCN ao longo dos anos em Moçambique. ....	13
Figura 3. Densidade das amostras de CNSL refinado e bruto.....	55
Figura 4. Gravidade específica das amostras de CNSL refinado e bruto.....	56
Figura 5. Viscosidade das amostras de CNSL refinado e bruto.....	57
Figura 6. Índice de acidez do CNSL refinado e bruto.....	57
Figura 7. Comparação dos intervalos das amostras com o padrão	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 8. Gráfico da viscosidade em relação as amostra, média e padrão.....	61
Figura 9. Massa volúmica em relação as amostras, média e padrão.....	63
Figura 10. Tempo de secagem em relação as amostra, média e padrão.....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AB - Amostra de CNSL Bruto

AR - Amostra de CNSL Refinada

CNSL - Líquido de casca de castanha de caju

KOH - Hidróxido de Potássio

PVAc – Poliacetato de vinila

RCN - "*Raw Cashew Nut*," refere-se à castanha de caju crua

VOCs - Compostos orgânicos voláteis

NaOH – Hidróxido de Sódio

## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

O cajueiro (*Anacardium occidentale*), nativo do Brasil, foi introduzido em Moçambique no século XVI pelos colonizadores portugueses, inicialmente para fins de frutificação, reflorestamento e produção de madeira. Com o avanço da indústria da castanha, sua casca passou a ser valorizada como fonte de CNSL, um resíduo que representa cerca de 70% do peso da castanha, extraído por métodos térmico-mecânico, solventes, prensagem ou fluido supercrítico, com rendimentos entre 18% e 25% da casca (FAOSTAT, 2025).

A composição química do CNSL varia conforme o método de extração: o CNSL natural contém 60% a 70% de ácido anacárdico, 10% a 20% de cardol e menos de 10% de cardanol, enquanto o CNSL técnico obtido por aquecimento pode alcançar até 60% – 95% de cardanol e manter os demais fenóis em menores proporções. A descarboxilação favorece a formação de cardanol, responsável pela flexibilidade e estabilidade hidrofóbica das formulações, conferindo-lhe potencial funcional para revestimentos (De Gruyter, 2015).

Por ser rico em fenóis com cadeias longas e insaturadas, o CNSL tem sido testado na indústria de tintas, vernizes e polímeros. Estudos demonstram que esses derivados possibilitam a redução na emissão de compostos orgânicos voláteis e oferecem resiliência anticorrosiva e resistência à água, embora possam exigir modificações químicas para aprimorar dureza e aderência (Jiménez-López & Hincapié-Llanos, 2022; MDPI, 2023).

Na construção civil, o papel das tintas vai além do acabamento estético: elas são essenciais para proteger superfícies de choques, produtos químicos, humidade, UV e variações térmicas. Assim, os revestimentos baseados em CNSL podem representar uma alternativa técnica e ecológica às tintas convencionais, mantendo performance e reduzindo impactos ambientais. A integração de bioinsumos como o CNSL segue os princípios da química verde e da produção limpa (Jiménez-López & Hincapié-Llanos, 2022).

## 1.2. Problematização

Nas últimas décadas, o aumento da preocupação ambiental e das exigências por práticas sustentáveis tem levado diferentes indústrias a buscar alternativas ao uso de recursos fósseis, altamente poluentes e não renováveis. A indústria de tintas, tradicionalmente dependente de derivados do petróleo, vem sendo pressionada a adotar formulações mais ecológicas, com baixo teor de VOCs, e baseadas em matérias-primas renováveis (Mohanty, Misra & Drzal, 2002; Patel et al., 2021). Nesse contexto, o Líquido da Casca da Castanha de Caju surge como uma alternativa promissora por ser abundante, de baixo custo e apresentar propriedades químicas interessantes para a fabricação de revestimentos sustentáveis.

O CNSL é um subproduto da indústria de processamento da castanha-de-caju, rico em compostos fenólicos como cardanol, cardol e ácido anacárdico, que conferem potencial para formulações anticorrosivas e hidrorrepelentes (Jiménez-López & Hincapié-Llanos, 2022). No entanto, apesar de seu potencial teórico e de alguns avanços laboratoriais, o uso do CNSL na produção de tintas ainda é restrito e pouco explorado em aplicações comerciais. Muitas formulações baseadas nesse insumo enfrentam desafios técnicos, como baixa aderência, menor resistência mecânica e necessidade de agentes modificadores que aumentam o custo da produção (Rojtman et al., 2024; Shikha & Awasthi, 2020).

Outro obstáculo é a variabilidade química do CNSL, que pode afectar directamente a consistência das tintas produzidas. O CNSL extraído por métodos térmicos ou por solventes apresenta diferentes proporções de seus componentes, o que interfere nas propriedades finais do produto (FAO, 2021; Isikgor & Becer, 2015). Sem um processo de padronização adequado ou aditivos correctivos, essa variação pode comprometer a durabilidade, o acabamento e o desempenho funcional das tintas, tornando difícil sua competitividade frente às tintas comerciais convencionais.

Além disso, a escassez de estudos comparativos aplicados entre tintas à base de CNSL e tintas comerciais dificulta a aceitação do produto no mercado. Faltam análises que considerem não apenas as propriedades físico-químicas das formulações ecológicas, mas também a sua viabilidade técnica e desempenho sob condições reais de aplicação, como exposição à humidade, abrasão, radiação UV e temperaturas

extremas (Xu et al., 2024; Paint.org, 2018). Essa lacuna dificulta a adoção tecnológica por parte da indústria e da construção civil, sectores exigentes em normas e desempenho comprovado.

O problema central, portanto, não reside apenas na disponibilidade do CNSL como insumo renovável, mas sim na ausência de conhecimento aprofundado e validado sobre sua real eficácia na produção de tintas sustentáveis. Havendo uma necessidade de evidências científicas que avaliem sua aplicabilidade e desempenho comparado, de forma a posicioná-lo como uma alternativa viável às tintas comerciais derivadas do petróleo (Cardolite, 2023; MDPI, 2023). Sem essas informações, seu uso continuará restrito ao nível experimental.

### **1.2.1. Pergunta de pesquisa**

Segundo Gil (1999, p.49) problema “na acepção científica é qualquer questão não solvida e que é objecto de discussão, em qualquer domínio do conhecimento”. Portanto, o presente trabalho se concentrará na seguinte pergunta de pesquisa:

- Qual é o potencial do líquido da casca da castanha de caju como matéria-prima alternativa para a produção de tintas sustentáveis de base oleosa, considerando as suas propriedades físico-químicas e a sua viabilidade na formulação de revestimentos com menor impacto ambiental?

### 1.3. Objectivos

#### 1.3.1. Objectivo geral

- Avaliar o potencial do líquido da casca da castanha de caju como matéria-prima alternativa na formulação de tintas sustentáveis de base oleosa.

#### 1.3.2. Objectivos específicos

- Caracterizar a composição química do líquido da casca da castanha de caju;
- Destacar as propriedades físico-químicas das tintas formuladas com base no CNSL;
- Identificar as principais vantagens e limitações técnicas do uso do CNSL como matéria-prima alternativa na fabricação de tintas de base oleosa com menor impacto ambiental.

### 1.4. Justificativa

Kyei et al. (2023) avaliaram resinas modificadas com CNSL em revestimentos, constatando que tais formulações apresentaram tempos de secagem adequados, boa aderência e ainda actividade antimicrobiana, demonstrando viabilidade técnica e potencial impacto ambiental positivo, por meio da valorização de resíduos agroindustriais.

Já, Xu et al. (2018) desenvolveram agentes de cura aquosos baseados em CNSL com alta percentagem de material biológico (41–55 %), zero VOCs e excelente desempenho, incluindo cura rápida, adesão e resistência à corrosão. Este estudo evidencia que o CNSL é capaz de competir tecnicamente com formulações tradicionais, justificando a investigação mais aprofundada de suas aplicações em revestimentos sustentáveis. Esses resultados dão suporte a importância de explorar o CNSL nas tintas, além dos revestimentos protectivos, corroborando seu uso em aplicações mais amplas.

**No âmbito pessoal**, este estudo surge através de uma indagação pessoal sobre em fortalecer o compromisso com práticas mais responsáveis na utilização de recursos naturais. Entretanto, a escolha pela utilização da casca da castanha de caju como

matéria-prima é, também, uma valorização dos recursos naturais disponíveis em Moçambique, país com grande potencial agrícola mas ainda não devidamente explorado. Trabalhar com um resíduo local e transformá-lo em algo útil para a indústria surge como uma forma de contribuir com o desenvolvimento nacional a partir da ciência aplicada. Entretanto, desenvolver esta pesquisa proporciona crescimento pessoal, fortalece e reafirma o compromisso com uma carreira voltada à inovação consciente e sustentável.

**No âmbito social**, a proposta se alinha à necessidade urgente de encontrar alternativas acessíveis e sustentáveis para sectores como a construção civil, que exerce grande impacto sobre o meio ambiente. O aproveitamento da casca da castanha de caju abundante em várias regiões de Moçambique pode impulsionar o desenvolvimento local, gerar oportunidades de emprego e renda para comunidades envolvidas na cadeia do caju, além de promover a valorização de saberes locais e resíduos ainda pouco explorados comercialmente.

**No âmbito académico**, o tema contribui para ampliar o conhecimento científico sobre fontes renováveis aplicadas à indústria de tintas, uma área ainda pouco investigada em contextos africanos. A pesquisa propõe um diálogo entre ciência de materiais, engenharia química e desenvolvimento sustentável, promovendo uma abordagem interdisciplinar e inovadora. Além disso, contribui para preencher lacunas existentes na literatura, especialmente no que diz respeito a comparações directas com produtos comerciais e à viabilidade técnica do CNSL.

**No âmbito ambiental**, o estudo justifica-se pela busca de alternativas ecologicamente correctas que reduzam a dependência de produtos derivados do petróleo, cujos processos de produção e decomposição são altamente poluentes. Ao transformar um resíduo agrícola em matéria-prima útil, o uso do CNSL contribui para a diminuição da emissão de Compostos Orgânicos Voláteis, evita o descarte inadequado de resíduos e reforça os princípios da economia circular e da química verde.

## **1.5. Metodologia de pesquisa**

De acordo com Gerhardt & Silveira (2009, p. 31), “a pesquisa científica é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objectivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos.” Neste estudo, os procedimentos metodológicos foram seleccionados com o propósito de compreender, comparar e analisar o potencial do CNSL na formulação de tintas sustentáveis, em contraste com tintas comerciais, tanto sob a perspectiva técnica quanto ambiental.

### **1.5.1. Quanto aos objectivos**

A presente investigação possui natureza exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória, segundo Gil (2008), visa proporcionar maior familiaridade com o problema de investigação, contribuindo para a construção de hipóteses ou o aprofundamento de conceitos técnicos como “ligantes vegetais” ou “resinas fenólicas”. Já a pesquisa descritiva, conforme Triviños (1987), permite detalhar os fenómenos observados, como o desempenho físico-químico das tintas formuladas a partir do CNSL, bem como comparar os resultados com os padrões estabelecidos por tintas comerciais.

### **1.5.2. Quanto à natureza**

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois procura gerar conhecimento com foco prático e aplicabilidade directa. Segundo Prodanov & Freitas (2013), a pesquisa aplicada visa resolver problemas concretos, orientando-se para a utilização do conhecimento em contextos reais, como é o caso da substituição de componentes petroquímicos por fontes renováveis no sector de tintas e revestimentos.

### **1.5.3. Quanto à abordagem**

A abordagem utilizada é mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Conforme Gerhardt & Silveira (2009), a pesquisa qualitativa permite compreender o comportamento dos materiais, suas propriedades químicas e o contexto socio ambiental da aplicação. A pesquisa quantitativa, segundo Prodanov & Freitas (2013),

apoia-se em dados mensuráveis, essenciais para avaliar propriedades como tempo de secagem, resistência à abrasão e aderência das tintas, garantindo a precisão dos resultados por meio de análises laboratoriais comparativas.

#### **1.5.4. Quanto ao procedimento**

O presente estudo valeu-se de quatro procedimentos metodológicos complementares:

- **I. Pesquisa bibliográfica:** com base em autores como Xu et al. (2018) e Kyei et al. (2023), a pesquisa bibliográfica foi essencial para compreender os fundamentos sobre o CNSL, resinas fenólicas e formulação de tintas sustentáveis. Segundo Fonseca (2002), citado por Gerhardt & Silveira (2009), essa técnica permite levantar e analisar referências publicadas em artigos, livros e fontes digitais, servindo de suporte teórico para a construção da proposta.
- **II. Pesquisa documental:** utilizou-se documentação técnica e catálogos de fabricantes de tintas, solventes e aditivos comerciais. Conforme Gil (2008), a pesquisa documental utiliza materiais que ainda não foram interpretados analiticamente, como fichas técnicas e normas de formulação, úteis para comparar a composição das tintas convencionais com as produzidas a partir do CNSL.
- **III. Pesquisa-acção:** a investigação foi concebida com base na resolução de um problema colectivo a procura por alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para a produção de tintas. De acordo com Gerhardt & Silveira (2009), a pesquisa-acção envolve a participação activa dos envolvidos no processo, incluindo investigadores e técnicos laboratoriais, trabalhando de forma cooperativa na experimentação e avaliação das tintas.

## **1.6. Estrutura do trabalho**

A presente monografia está organizada em capítulos, estruturados de forma lógica e sequencial, para assegurar o desenvolvimento coerente dos conteúdos e o alcance dos objectivos definidos. A seguir, apresenta-se a descrição de cada capítulo:

**CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO** – Este capítulo constitui a base inicial do trabalho, onde se apresenta uma visão geral sobre a temática abordada. São expostos os principais elementos introdutórios, nomeadamente: a contextualização do problema, a formulação da questão de partida, o objectivo geral e os específicos, a justificativa do estudo, a metodologia de pesquisa adoptada e a estrutura do trabalho.

**CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA** – Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos e científicos que sustentam o estudo. A revisão está organizada em torno dos seguintes tópicos: o cajueiro e a produção de caju em África e Moçambique; a composição e o aproveitamento do líquido da casca da castanha de caju; os tipos de resinas (fenólicas, resole e novolak); os componentes das tintas comerciais e sustentáveis; e o processo de fabricação de tintas com foco nas formulações com base em CNSL.

**CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDO** – Este capítulo apresenta a condução prática da investigação, envolvendo a formulação experimental de tintas à base de CNSL, a sua aplicação em substratos-padrão, bem como a comparação de desempenho com amostras de tintas comerciais. São descritos os materiais utilizados, os procedimentos laboratoriais, os critérios técnicos adoptados e as condições de teste.

**CAPÍTULO IV: ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO** – Neste capítulo, são analisados e interpretados os dados obtidos a partir dos testes laboratoriais e das respostas recolhidas através de entrevistas e questionários. A discussão está centrada na avaliação das propriedades físico-químicas das tintas formuladas, confrontando os resultados com os padrões de desempenho técnico, os critérios ambientais e a viabilidade de aplicação industrial.

CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS – Este capítulo apresenta as principais conclusões do estudo, à luz dos objectivos propostos. São também destacadas as limitações encontradas no percurso da investigação, bem como sugestões para estudos futuros e possíveis melhorias no aproveitamento do CNSL como alternativa sustentável na indústria de tintas.

## CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo, é reservado ao desenvolvimento do referencial teórico, estudos e pesquisas relacionados ao tema, trazendo termos-chave e conceitos fundamentais em uma abordagem de estudo.

### 2.1. Cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta nativa da região da América do Sul e das regiões tropicais. Espalhou-se para outros países, como Moçambique, Índia, Angola e Quênia, desde o século XVI. É uma árvore de aparência exótica, de troncos tortos, folhas glabras, flores masculinas e hermafroditas e fruto reniforme. É, também, conhecido pela produção de dois produtos distintos: a castanha de caju (semente) e o chamado *pseudofruto* (pedúnculo floral), conhecido como “maçã de caju”. O cajueiro é classificado em dois tipos, o comum que também é conhecido como gigante e o anão-precoce (Filho et al., 2016; Quirino, 2019).

A castanha de caju é um importante produto comercial, consumido como fruto seco e usado em diversas indústrias alimentares, enquanto o pedúnculo é rico em vitamina C e pode ser aproveitado na produção de sucos, doces e bebidas fermentadas (vinho de caju). Além disso, da casca que envolve a castanha extrai-se um líquido oleoso com alto teor de compostos fenólicos, o Líquido da Casca da Castanha de Caju, de grande interesse industrial (Nambiar et al. (2017). Este líquido será detalhado nas próximas secções devido às suas múltiplas aplicações tecnológicas.

A castanha de caju é usada para a produção de amêndoas e do líquido da castanha de caju (CNSL) (Carneiro, 2013; Quirino, 2019). Desde o tempo colonial, o cajueiro foi a principal fruteira em Moçambique (Cunguara, 2011). O sector do caju em Moçambique tem uma importância estratégica para o desenvolvimento económico do país. A produção de caju gera renda para mais de um milhão de famílias rurais, podendo representar até 70% da receita monetária para essas famílias (Frei et al., 2012).

Cajú, popularmente conhecido como fruto, é formado por um pedúnculo, ou pseudofruto (falso fruto) que se forma junto à castanha, o verdadeiro fruto, como mostra a figura 1. A castanha do caju mede entre 2,5 a 3 cm de comprimento e cerca

de 2,5 cm de largura e tem uma coloração castanha-acinzentada, representando 10% do peso total do fruto, de onde se extrai a amêndoa e o líquido da castanha de caju. O pedúnculo é a parte, carnosa, a parte comestível do caju no seu estado natural, de onde se obtém os sucos, e fibras alimentares. O pseudofruto é formado logo após o desenvolvimento da amêndoa, medindo de 5 -10 cm de comprimento e 4 – 8 cm de largura, com uma casca fina de cor vermelha ou amarela, com a polpa macia, fibrosa, suculenta e ácida. O pedúnculo representa 90% do peso total do fruto (Quirino, 2019).



Figura 1. *Anacardium occidentale* L. (Caju), com pedúnculo (pseudofruto), e castanha (verdadeiro fruto).

Fonte: Mendes (2019)

### **2.1.1. Produção de caju em África**

A produção de castanha de caju tem grande relevância em vários países africanos, contribuindo significativamente para economias rurais e exportações agrícolas. Desde a década de 2010, a África Ocidental emergiu como a região líder mundial na produção de castanha de caju, com países como Costa do Marfim, Nigéria, Benim, Guiné-Bissau e Gana entre os maiores produtores globais (Babatunde et al., 2023). Nesses países, o caju tornou-se, em alguns casos, a segunda cultura de exportação mais importante, logo após o cacau, refletindo a crescente demanda mundial pela amêndoa de caju.

Segundo Babatunde et al. (2023), a África responde actualmente por cerca de 40% da produção global de castanha, envolvendo mais de 1,5 milhão de pequenos produtores familiares. A Costa do Marfim destaca-se como o maior produtor individual atingindo colheitas superiores a 1,2 milhão de toneladas anuais em 2023 e outros países da região também vêm expandindo suas plantações (Álvaro, 2024).

Contudo, um desafio para a África tem sido agregar valor internamente, já que historicamente grande parte da castanha africana é exportada na sua forma natural para processamento na Ásia. Ainda assim, iniciativas regionais visam fortalecer a cadeia de valor, melhorar a qualidade das castanhas e investir em pesquisa de variedades de alto rendimento (Babatunde et al., 2023). Essa dinâmica evidencia a importância do cajueiro como cultura de rendimento em África, contribuindo para geração de emprego rural, divisas com exportação e desenvolvimento socioeconómico em zonas agroecológicas adequadas (Balgude & Sabnis, 2014).

### **2.1.2. Produção de caju em Moçambique**

Moçambique tem uma relação histórica profunda com o caju, já tendo ocupado posição de destaque mundial na produção. Até meados da década de 1970, o país foi o segundo maior produtor de castanha de caju do mundo, atingindo um pico de cerca de 210 mil toneladas em 1973, ficando atrás apenas da Índia. No período colonial, extensos cajueirais foram estabelecidos especialmente nas províncias do norte e centro (como Nampula, Cabo Delgado e Zambézia), envolvendo milhares de famílias camponesas. Após a independência em 1975, entretanto, o sector do caju moçambicano entrou em declínio acentuado devido a uma combinação de factores: conflitos armados, envelhecimento e doenças dos cajueiros, políticas económicas desfavoráveis e colapso de indústrias locais de processamento. Após a guerra civil, que durou desde os anos 70 até meados dos anos 90, e um ciclone em 1994 que destruiu 40% dos seus cajueiros produtivos, os níveis de produção de RCN de Moçambique caíram drasticamente. O país perdeu a sua estatura de líder mundial. Em 2017, a produção do RCN era apenas 70% do nível registrado em 1973. Com isso, a produção anual caiu para meros 15–20 mil toneladas nos anos 1980 (Lusa, 2025).

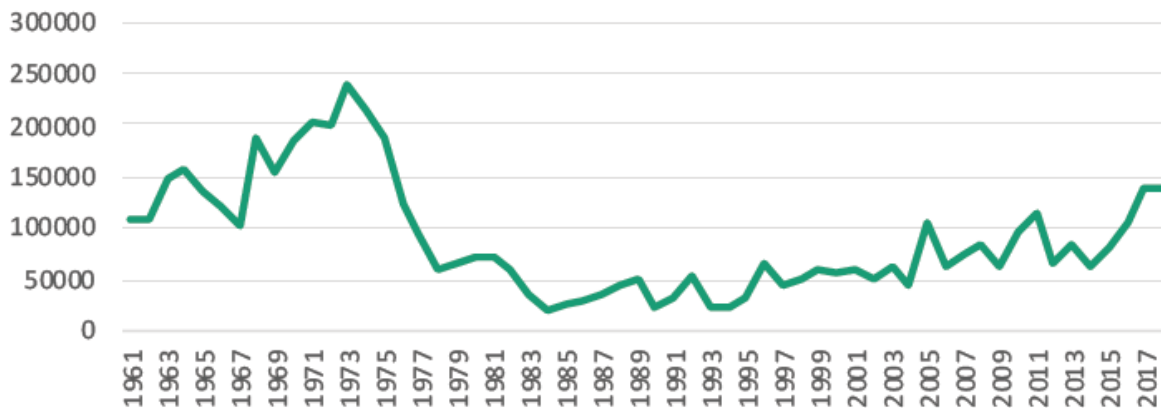


Figura 2. Produção em toneladas do RCN ao longo dos anos em Moçambique.

Fonte: FAOSTAT consultado em 16/9/2020 (excepto para 2018: dados do INCAJU/PES 2019).

Nas últimas décadas, esforços de revitalização do caju em Moçambique – liderados pelo Instituto de Amêndoas de Moçambique (IAM, antigo INCAJU) – têm logrado recuperação significativa da produção. Programas governamentais e parcerias com instituições internacionais investiram na distribuição de mudas melhoradas de cajueiro, no controle de pragas (como o oídio e antracnose) e na reabilitação das fábricas de processamento locais. Como resultado, a safra moçambicana vem crescendo de forma sustentada. Dados recentes indicam que a comercialização de castanha de caju em 2024/2025 atingiu 195.400 toneladas, aproximando-se dos níveis recorde dos anos 70 (Lusa, 2025). Estima-se que actualmente mais de 1 milhão de famílias em Moçambique cultivam cajueiros, reforçando a importância socioeconómica desta cultura no meio rural. O governo projecta um aumento adicional de 23% na colheita, podendo alcançar aproximadamente 219 mil toneladas em 2025, impulsionado pela expansão da área de cultivo para cerca de 64 mil hectares (Lusa, 2025).

Caso essas projecções se confirmem, Moçambique voltará a figurar entre os maiores produtores mundiais. Vale notar que a maioria da produção moçambicana ainda é exportada semibeneficiada ou por beneficiar, havendo espaço para investir no processamento interno e, assim, agregar mais valor localmente. Em síntese, o caju permanece como uma das principais culturas de rendimento do país, com forte contribuição para as exportações agrícolas (por exemplo, gerando receitas de cerca de

98 milhões de dólares em 2024) e representando uma fonte de sustento e emprego para comunidades rurais (Lusa, 2025).

## **2.2. Líquido da casca da castanha de caju**

Durante o processamento da castanha de caju, obtém-se um subproduto de grande interesse industrial: o líquido da casca da castanha de caju, comumente referido pela sigla CNSL. O CNSL localiza-se no mesocarpo (entre a casca dura externa e a semente interna) da castanha e corresponde a uma fracção significativa do peso do fruto. Em geral, o LCC representa cerca de 25–30% da massa da castanha in natura (Vega *et al.*, 2025). Trata-se de um líquido viscoso, inflamável e de coloração castanho-escura, cujo teor fenólico elevado confere propriedades cáusticas e antioxidantes marcantes.

Historicamente, esse líquido era visto mais como resíduo tóxico (causador de irritações de pele em trabalhadores que manuseavam as cascas); contudo, pesquisas demonstraram seu enorme potencial como matéria-prima renovável para a indústria química, devido à presença de compostos fenólicos de cadeia longa exclusivos do caju (Balgude & Sabnis, 2014; Vega *et al.*, 2025).

Quimicamente, o CNSL natural é uma mistura complexa de ácidos fenólicos e fenóis alquilados. Os estudos indicam que o principal componente do líquido bruto (extraído a frio, sem aquecimento) é o ácido anacárdico, correspondendo a aproximadamente 60–70% da composição, seguido de cerca de 15–20% de cardol (um di-fenol) e proporções menores de cardanol (fenol monohidroxilado) e 2-metilcardol. Por exemplo, Vega *et al.* (2025) reportam que um CNSL obtido por extracção com solvente contém em média 60–65% de ácidos anacárdicos como fracção majoritária, ao lado de cardol, cardanol e traços de 2-metilcardol. Já o CNSL técnico – obtido pelos métodos tradicionais de extracção a quente ou torrefacção das cascas – apresenta composição distinta, pois o aquecimento promove a descarboxilação dos ácidos anacárdicos em cardanol. Assim, o líquido da castanha resultante dos processos industriais de calor contém maioritariamente cardanol (até ~70%), além de cardol e 2-metilcardol, com pouco ou nenhum ácido anacárdico remanescente (Vega *et al.*, 2025). Em ambos os casos, esses componentes possuem uma longa cadeia hidrocarbônica (15 carbonos) ligada

ao anel aromático, podendo variar no grau de insaturação (desde totalmente saturada até tri-insaturada). Essa estrutura química única combinando um anel fenólico (aromático) e uma cauda alifática hidrofóbica confere ao CNSL propriedades peculiares, como carácter hidrofóbico, baixa volatilidade e alta reactividade similar à de fenóis sintéticos (Balgude & Sabnis, 2014; Ikeda et al., 2000). Um exemplo dessas propriedades físicas é que o cardanol (fenol predominante no CNSL técnico) permanece líquido a temperaturas muito baixas (ponto de congelação abaixo de – 20 °C) e demonstra densidade (~0,93 g/mL) e viscosidade adequadas para uso como plastificante ou diluente reactivo em polímeros.

Devido à abundância e baixo custo (por ser derivado de resíduos agroindustriais), o CNSL vem sendo explorado como uma das principais fontes naturais de fenóis. Sua origem renovável e disponibilidade em países tropicais adicionam valor no contexto de substituição de insumos petroquímicos por alternativas sustentáveis. Estimativas sugerem que para cada tonelada de castanha de caju processada, até cerca de 300 kg de CNSL podem ser obtidos, dependendo do método de extracção (Vega et al., 2025). Na Índia – líder tradicional no processamento de caju a produção anual de CNSL é significativa (em torno de 50–60 mil toneladas), havendo empresas especializadas no refino e modificação química desses extractos para diversas aplicações comerciais (Tullo, 2008).

### **2.2.1. Origem e composição**

O CNSL é originário do mesocarpo da castanha de caju, estando presente em cavidades celulares da casca. Para obtê-lo em escala industrial, existem diversos métodos, cada um afectando a composição final do líquido (Vega et al., 2025). Os métodos principais incluem: extracção mecânica, processo a quente por banho de óleo (torrar as cascas em óleo quente, liberando o líquido), destilação a vácuo das cascas e extracção por solventes ou fluidos supercríticos. O rendimento típico gira em torno de 20% a 30% do peso das cascas secas.

O CNSL bruto (extraído a frio ou via solvente) é constituído predominantemente por ácidos anacárdicos uma família de ácidos 2-hidroxi-6-alkuil benzóicos, onde o grupo alquil ( $C_{15}$ ) pode ter 0, 1, 2 ou 3 insaturações. Esses ácidos são responsáveis por muitas propriedades biológicas do CNSL (actividade antimicrobiana, insecticida, etc.), porém são termicamente instáveis, se decompondo facilmente em *cardanol* ao serem aquecidos (Hamad & Mubofu, 2015). O *cardanol*, por sua vez, é um meta-alkuilfenol (3-pentadecilfenol, considerando a forma saturada) que corresponde à forma descarboxilada do ácido anacárdico. No CNSL técnico – obtido por calor o cardanol passa a compor cerca de 50–70% do líquido, enquanto os demais componentes são cardol (5-10%) e 2-metilcardol (traços a ~10%), além de pequenas quantidades residuais de ácido anacárdico não reagido.

Em termos estruturais, vale destacar cada componente principal:

- **Ácido Anacárdico:** possui duas funções (aromática fenólica e ácida carboxílica) e uma cadeia pentadecil ( $C_{15}$ ) ligada em posição 6 do anel. Essa cadeia pode ser saturada ou apresentar insaturações duplas conjugadas. Os ácidos anacárdicos conferem forte actividade biocida (denaturam proteínas de microorganismos) e causam irritação dérmica. São sólidos ou líquidos viscosos de cor marrom, solúveis em solventes orgânicos polares. Em aplicações, têm sido estudados como antioxidantes naturais e até como precursores para síntese de moléculas bioativas (Vega et al., 2025).

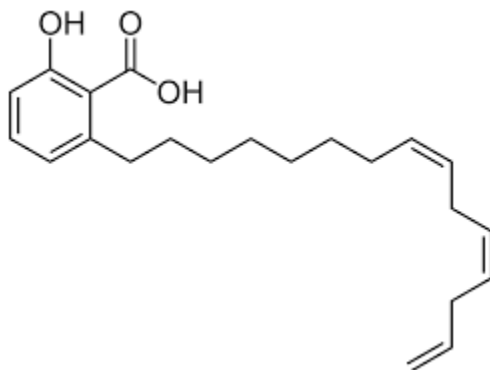


Figura 3. Fórmula estrutural do ácido anacárdico

Fonte: <https://en.pagacas.com/cashew-nut-shell-oil-overview-features-benefits-blo122>

- **Cardanol:** fenol com a mesma cadeia  $C_{15}$  na posição meta (3-pentadecenil-fenol nas formas insaturadas mais comuns). É um líquido amarelo claro (quando puro por destilação) ou marrom (quando obtido por torra) e hidrofóbico. Seu ponto de ebulição está em  $\sim 225\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 10 mmHg e permanece líquido a temperaturas negativas. O cardanol é o composto de maior interesse industrial no CNSL devido à sua versatilidade: comporta-se quimicamente de forma similar ao fenol comum (podendo reagir com formaldeído, epóxidos, isocianatos, etc.), porém a longa cadeia lateral lhe dá flexibilidade e menor volatilidade. Isso torna o cardanol apropriado para formular resinas fenólicas modificadas, plastificantes, surfactantes não-iônicos e outros polímeros (Balgude & Sabnis, 2014; Ikeda et al., 2000). De fato, cardanol é considerado hoje um “biofenol” promissor para substituir parcialmente fenóis petroquímicos em polímeros, contribuindo para redução de VOCs e pegada de carbono nos produtos (Tullo, 2008).

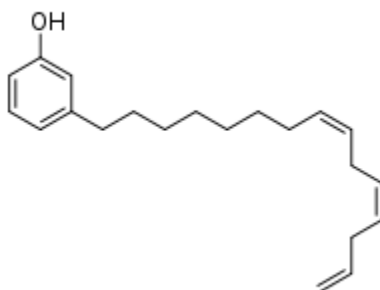


Figura 4. Fórmula estrutural do cardanol

Fonte: <https://en.pagacas.com/cashew-nut-shell-oil-overview-features-benefits-blo122>

- **Cardol:** é um di-fenol (resorcinol substituído) com cadeia  $C_{15}$ . No CNSL cru constitui cerca de 10–20%. O cardol é mais polar e pode causar dermatites fortes; por isso, em muitas aplicações remove-se cardol do CNSL (purificando

cardanol). Contudo, o cardol também encontra usos, por exemplo, em agentes de cura de resinas epóxi ou na síntese de poliuretanos especiais, aproveitando seus dois grupos –OH reativos (Nandi et al., 2017).

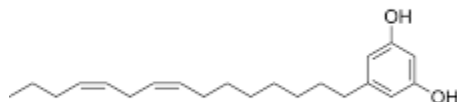


Figura 5. Fórmula estrutural do cardol

Fonte: <https://en.pagacas.com/cashew-nut-shell-oil-overview-features-benefits-blo122>

- **2-Metilcardol:** similar ao cardol, mas com um grupo metil extra no anel. Está presente em pequena quantidade (<5%). Seus efeitos e usos são menos estudados, mas quimicamente pode reagir de forma análoga ao cardol.



Figura 6. Fórmula estrutural do 2-metilcardol

Fonte: <https://en.pagacas.com/cashew-nut-shell-oil-overview-features-benefits-blo122>

Em suma, o CNSL fornece uma variedade de compostos fenólicos únicos, cuja presença de longas cadeias hidrocarbônicas diferencia-os dos fenóis convencionais. Essa característica permite, por exemplo, que polímeros derivados do CNSL tenham

maior hidrofobicidade e flexibilidade. Além disso, a utilização do CNSL e derivados agrega valor a um resíduo agrícola e diminui a necessidade de fenol derivado de petróleo, alinhando-se a tendências de químicas sustentáveis (Resibras, 2023).

### 2.2.2. Resinas fenólicas

As resinas fenólicas foram descritas pela primeira vez em 1872 pelo químico Adolf von Bayer (Soares, 2021). Este conseguiu produzir uma resina através da reacção entre fenol e formaldeído. O produto obtido revelou ser pouco estável e por esse motivo não se provou adequado para as exigências do mercado. Só em 1907 é que Leo Baekland, um químico belga, conseguiu produzir uma resina fenólica com características e capacidade para utilização em equipamentos, dando-lhe o nome de Bakelite, tendo inclusive, patenteado a tecnologia. A tecnologia consistia num método de cura rápido em que a resina era logo colocada a alta pressão no seu formato final através de um molde, evitando assim a formação de bolhas.

No contexto desta revisão, o termo resinas refere-se principalmente a materiais poliméricos que actuam como ligantes ou matrizes em compósitos, adesivos e revestimentos. As resinas podem ser de origem natural (por exemplo, resinas vegetais) ou sintética. Dentre as resinas sintéticas de maior relevância histórica e industrial estão as resinas fenólicas, que têm relação directa com o CNSL: os compostos fenólicos do óleo de caju podem substituir o fenol de origem petroquímica na síntese de certas resinas fenólicas, resultando em materiais com propriedades diferenciadas (Balgude & Sabnis, 2014). **Antes de abordar essas resinas “verdes”, faz-se uma breve revisão sobre as** resinas fenólicas em geral, seus precursores e classificações, bem como outros tipos de resinas relevantes na fabricação de tintas.

As resinas fenólicas também conhecidas como resinas fenol-formaldeído – foram os primeiros polímeros sintéticos desenvolvidos comercialmente, inaugurando a era dos plásticos no início do século XX. A descoberta da baquelite por Leo Baekeland, em 1907, exemplifica a polimerização de um fenol com um aldeído para formar uma resina termofixa de excelentes propriedades termo-mecânicas. Em termos gerais, resinas fenólicas são polímeros termorrígidos obtidos pela reacção de condensação entre um fenol (aromático com grupo – OH) e um aldeído (geralmente formaldeído) (Balgude &

Sabnis, 2014). Essa reacção resulta em redes tridimensionais altamente reticuladas, conferindo às resinas fenólicas características notáveis: elevada resistência térmica, boa estabilidade dimensional, robustez mecânica, além de serem bons isolantes eléctricos e térmicos. Tais qualidades justificam seu extenso uso em produtos que demandam resistência a calor e fogo (por exemplo, componentes de veículos, electrodomésticos, revestimentos anticorrosivos e espumas isolantes).

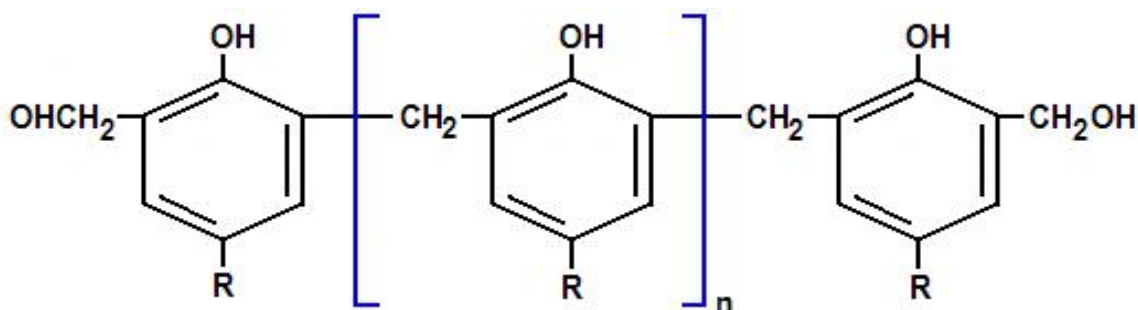


Figura 7. Fórmula estrutural geral da resina fenólica

Fonte: Mário Caetano (2024)

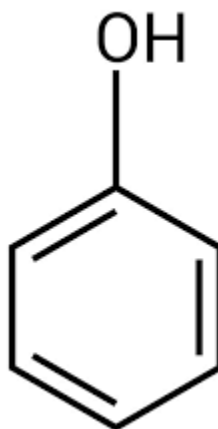
### 2.2.2.1. Fenol

O fenol (hidroxibenzeno, de fórmula  $C_6H_5OH$ ) é um composto aromático considerado o “bloco construtor” clássico das resinas fenólicas. Em seu estado puro, o fenol é um sólido cristalino incolor (ponto de fusão  $\sim 40^\circ C$ ) com odor característico e propriedades cáusticas. Industrialmente, é produzido a partir de derivados do benzeno (processo cumeno-fenol) e largamente utilizado na síntese de plásticos, desinfetantes e outros químicos. Na formação de resinas, o fenol actua como nucleófilo aromático que reage com aldeídos em presença de catalisadores adequados, formando ligações metileno ( $-CH_2-$ ) que conectam anéis aromáticos (estrutura básica da resina fenólica).

Um aspecto importante é que o anel benzénico do fenol possui posições activas (orto e para) que, sob certas condições, permitem ligação com múltiplos grupos aldeído, levando à formação de estruturas poliméricas de diferentes topologias. Além do fenol comum, derivados fenólicos também podem ser empregados para modificar as características da resina final exemplos incluem o resorcinol (di-fenol), o bisfenol-A e o

próprio cardanol (um fenol de cadeia longa derivado do CNSL) (Balgude & Sabnis, 2014; Rinaldi et al., 2020).

Cada fenol substituído confere reactividade e flexibilidade distintas à resina resultante. No entanto, o fenol padrão permanece o mais usado comercialmente por garantir um produto de propriedades bem conhecidas e custo relativamente baixo (derivado de petróleo). Convém lembrar que o fenol é tóxico e corrosivo, exigindo cuidados de manuseio; justamente por isso, alternativas bio-fenólicas (como as oriundas do caju) são atractivas para tornar esse segmento mais sustentável e seguro (eCycle, 2020).



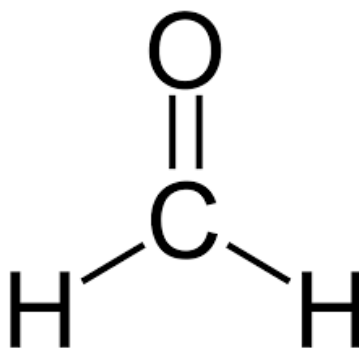
*Figura 8. Fórmula estrutural do Fenol*

Fonte: *Fonte: Mário Caetano (2024)*

#### **2.2.2.2. Aldeído**

Dentre os aldeídos, o formaldeído (HCHO), conhecido também como metanal, é o reagente clássico para resinas fenólicas. Trata-se de um gás altamente reactivo (geralmente utilizado na forma de soluções aquosas como formalina, ou em paraformaldeído sólido) que, ao se condensar com fenóis, forma pontes  $-CH_2-$  entre moléculas de fenol. O formaldeído é preferido por sua eficiência reaccional e baixo custo (derivado da oxidação de metanol). Outros aldeídos possíveis incluem o furfural (de fonte vegetal), acetaldeído, glioxal etc., mas raramente substituem o formaldeído em escala industrial.

A reacção fenol-formaldeído pode ser catalisada por ácidos ou bases, e conforme a razão molar fenol:aldeído e as condições do meio, obtêm-se diferentes tipos de resina (novolac ou resole, discutidas adiante). Cabe salientar que o formaldeído é um composto volátil e classificado como carcinogénico para humanos (IARC), o que tem motivado pesquisas para substituí-lo por agentes menos tóxicos – por exemplo, aldeídos derivados de biomassa como o furfural ou o glioxal (menos volátil). Algumas resinas fenólicas mais modernas já utilizam furfural (obtido do bagaço de cana ou sabugo de milho) em combinação ou no lugar de formaldeído, reduzindo a emissão de vapores nocivos (Borchardt & Nava, 2017).



*Figura 9. Fórmula estrutural do Formaldeído*

*Fonte: Mário Caetano (2024)*

### **2.2.2.3. Resinas resole**

As resinas do tipo resole (ou resol) são um dos dois principais tipos de resinas fenol-formaldeído, caracterizadas por serem produzidas em meio básico, com excesso de formaldeído em relação ao fenol. Nessa condição, obtém-se inicialmente um pré-polímero solúvel (oligômeros fenólicos com grupos hidroximetil  $-CH_2OH$  pendentos), que permanece termoplástico até ser curado. Os resoles são também chamados de resinas de “única etapa”, pois podem ser moldados/cast e então polimerizados termicamente sem necessidade de agente de cura adicional a própria resina contém grupos reactivos (hidroximetil e pontes metileno) que, ao aquecimento (ou catalise

ácida subsequente), promovem a autocondensação completando a reticulação. (Tullo, 2008)

Em termos físicos, as resinas resole comerciais costumam ser vendidas como líquidos viscosos ou sólidos de baixo peso molecular, estáveis em armazenamento por um certo período. Ao serem aquecidas (tipicamente a 130–180 °C), passam por cura exotérmica e formam uma rede tridimensional infusível e insolúvel. Os resoles apresentam tempo de cura relativamente rápido e fornecem excelente adesão a substratos, motivo pelo qual são amplamente usados como colantes (adesivos) em madeiras laminadas (compensados), em tecidos com resina fenólica e na impregnação de papéis (para laminados decorativos ou isolantes). Também são empregados em espumas fenólicas, obtidas pela reação do resole com agentes expansores.

Quimicamente, a síntese de um resole envolve adicionar formaldeído em solução ao fenol sob catalisador básico (frequentemente hidróxido de sódio ou cálcio). Com razão formaldeído/fenol > 1, obtém-se produtos com muitos grupos terminais  $-CH_2OH$ . Esses grupos conferem solubilidade em água ou álcool e permitem que o resole continue polimerizando ao longo do tempo (tendência de autoespessamento). Por isso, muitas formulações comerciais incluem estabilizantes para controlar a vida útil do resole. Ao final da cura, as resinas resol resultam em materiais duros e rígidos, porém podem ser algo frágeis se puras. Uma estratégia utilizada para melhorar tenacidade é incorporar modificadores flexíveis (e é aqui que entra o cardanol do CNSL: quando incorporado na resina fenólica, sua longa cadeia hidrocarbonada alifática confere maior ductilidade e resistência ao impacto, diminuindo a excessiva rigidez típica das fenólicas puras) (Tullo, 2008; Balgude & Sabnis, 2014).

Um uso industrial notável de resinas resoles modificadas é na formulação de pastilhas de travão automotivas, onde a resina fenólica actua como matriz ligante dos diversos componentes do material de fricção. Resinas resoles à base de fenol-cardanol, por exemplo, têm demonstrado coeficientes de atrito menos sensíveis à temperatura, melhorando o desempenho dos travões em condições variadas. (Tullo, 2008)

Em resumo, resinas resole são versáteis, de cura autónoma (auto-reticulante) e amplamente utilizadas em adesivos e revestimentos industriais. Sua fabricação sob

catálise básica e com formaldeído excedente as distingue das novolac, como veremos a seguir.

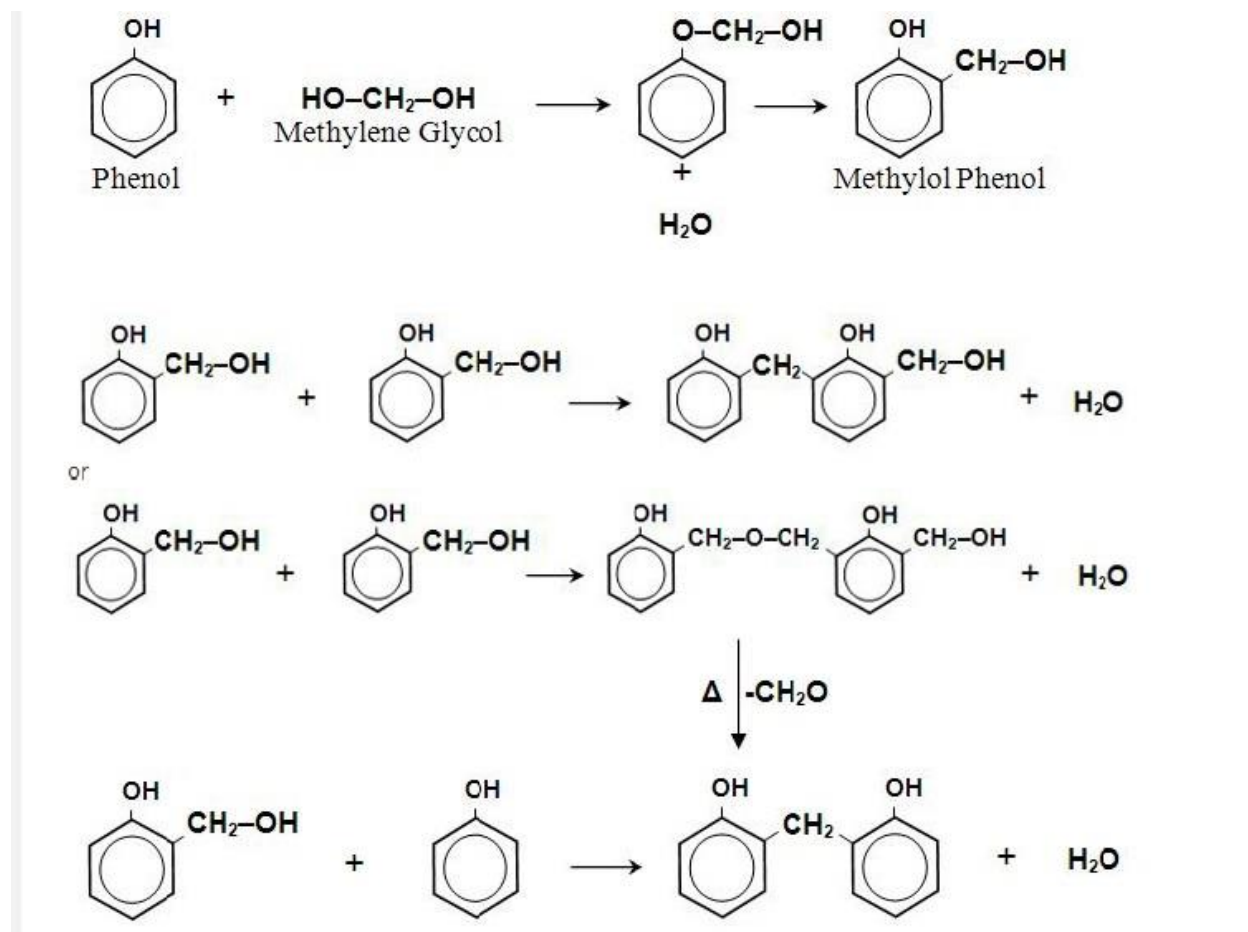


Figura 10. Reacção de formação da resina resole

Fonte: <https://www.plenco.com/phenolic-novolac-resol-resins.htm>

#### 2.2.2.4. Resinas novolac

As resinas do tipo novolac (novolaca) constituem o outro grande grupo de resinas fenólicas. Diferentemente dos resoles, as novolacas são produzidas em meio ácido, com excesso de fenol em relação ao aldeído. Essa combinação leva à formação de um polímero de condensação linear, com peso molecular moderado, que não contém grupos reactivos suficientes para curar por si só. Ou seja, as novolacas são termoplásticas estáveis: após a reacção inicial (geralmente realizada a quente, em presença de ácidos como oxálico ou sulfúrico), obtém-se um sólido resinoso que pode ser fundido e moldado, mas que permanecerá passível de re-dissolução/fusão a

menos que seja adicionado um agente de cura externo. Para converter a novolaca em um termofixo infusível, costuma-se incorporar um agente reticulante tipicamente hexametilenotetramina (urotropina) – que, sob aquecimento, libera formaldeído e provoca a reticulação final da resina. Assim, as novolacas são também chamadas de resinas de “duas etapas”: primeiro forma-se a resina novolaca base; depois, na moldagem final, adiciona-se hexamina e calor para efectivar a cura 3D.

Em termos de propriedades, as resinas novolacas são geralmente fornecidas como pós ou granulados sólidos (de cor variando de amarela a marrom), insolúveis em água mas solúveis em alguns solventes orgânicos. Elas apresentam ponto de fusão definido (tipicamente 70–100 °C conforme a massa molecular), o que facilita a moldagem por fluxo a quente. São utilizadas na fabricação de peças moldadas por compressão (por exemplo, componentes eléctricos, telefones), na formulação de certos adesivos e revestimentos resistentes a solventes, e como ligantes em produtos de fricção. Aliás, muitas pastilhas de travão usam novolacas fenólicas modificadas como parte do sistema ligante nesses casos, a hexametilenotetramina é incorporada na mistura do composto de fricção, e durante a cura da pastilha (em estufa) a resina novolaca é reticulada in-situ para conferir resistência mecânica e térmica ao material (Blau, 2001).

Comparadas aos resoles, as novolacas tendem a apresentar maior estabilidade de armazenamento (não curam sozinhas) e produzem polímeros finais um pouco mais dúcteis. Entretanto, requerem o passo extra de adição de catalisador de cura. Novamente, é possível introduzir fenóis substituídos na fabricação de novolacas para modificar suas características.

Em suma, tanto resole quanto novolac são importantes classes de resinas fenólicas, cada qual com seu processo de síntese e uso característico. Elas compartilham as qualidades de estabilidade térmica e resistência mecânica inerentes às redes aromáticas, e por isso permanecem insubstituíveis em certas aplicações técnicas (apesar de questões ambientais e de saúde associadas aos seus monómeros). (Balgude & Sabnis, 2014).

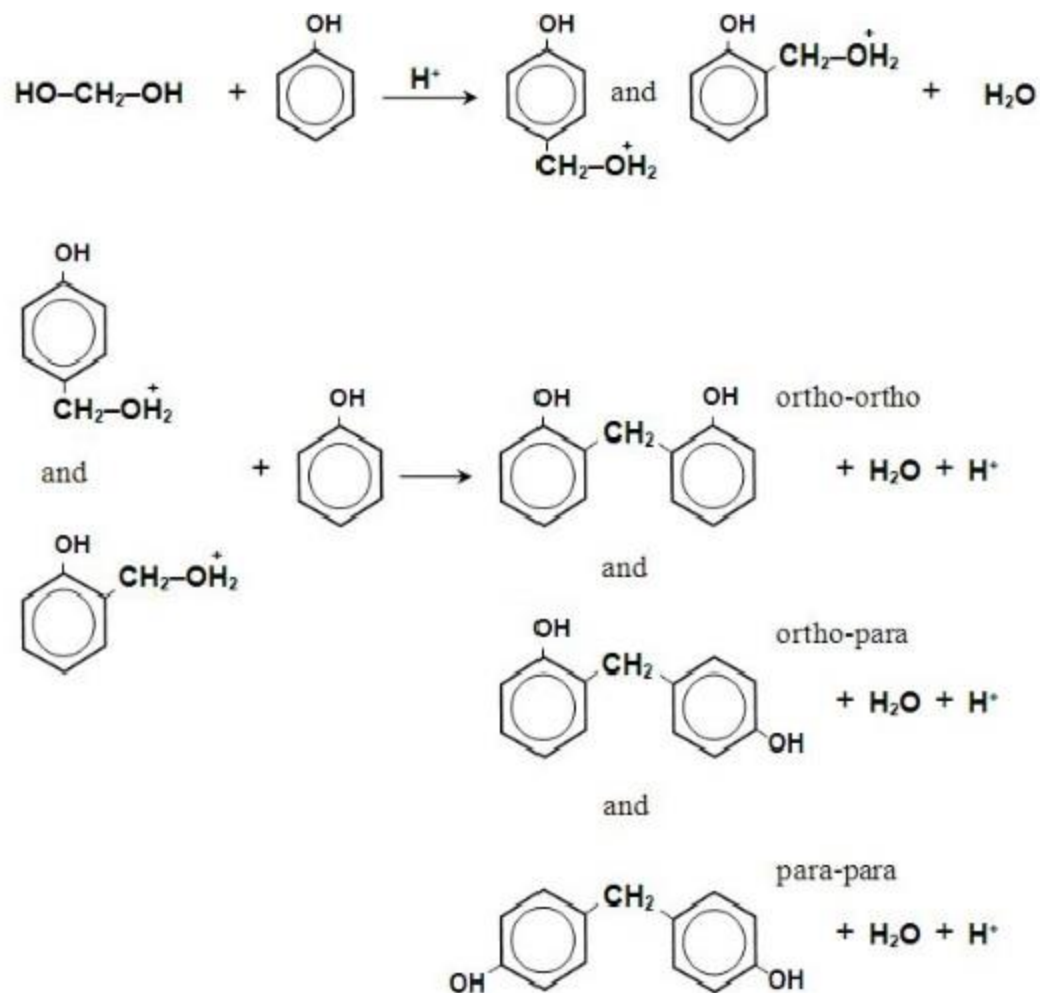


Figura 11. Reacção de formação da resina novolac

Fonte: <https://www.plenco.com/phenolic-novolac-resol-resins.htm>

### 2.2.3. Aplicações

As aplicações do CNSL e seus derivados abrangem diversos sectores. A indústria química tem aproveitado tanto o líquido bruto como fracções purificadas (especialmente cardanol) em produtos como: materiais de fricção (por exemplo, pastilhas de travão), vernizes e tintas, resinas e polímeros (revestimentos, adesivos, espumas), além de usos em lubrificantes, espumantes, insecticidas, antioxidantes e até em formulações de medicamentos tradicionais (Tullo, 2008; Lusa, 2025). Aqui serão destacados três domínios de emprego intimamente ligados ao escopo deste trabalho: atritos automotivos, tintas/vernizes e resinas para revestimentos e adesivos.

## Pastilhas de travões

Uma das aplicações industriais consagradas do CNSL é na fabricação de materiais de fricção para sistemas de travões (freios) e embreagens. Desde meados do século XX, descobriu-se que resinas fenólicas modificadas com óleo de caju apresentavam desempenho superior em pastilhas de travão, especialmente em reduzir a sensibilidade do coeficiente de atrito à temperatura (Tullo, 2008). Essas resinas, também chamadas de “friction dust” de caju ou pó de fricção, são obtidas polimerizando-se o cardanol insaturado: primeiro ocorre a polimerização das cadeias alifáticas insaturadas entre si, gerando partículas poliméricas, e em seguida essas partículas são reticuladas com formaldeído, formando uma resina fenólica termofixa pulverulenta. O produto final é um pó granular marrom, conhecido como “*cashew friction dust*”, que é incorporado na matriz das pastilhas de freio.

As vantagens trazidas pela adição de pó de CNSL nas pastilhas incluem: melhor absorção de calor, redução de ruídos e vibrações, e modulação mais linear do atrito em variadas temperaturas (Blau, 2001). De acordo com Blau (2001), o material derivado de caju produz uma matriz mais macia do que resinas fenólicas puras, o que facilita o “grip” inicial em baixas temperaturas, evitando que o freio seja ineficaz quando frio. Além disso, por ser um material parcialmente carbonáceo, em altas temperaturas ele pode decompor-se de modo controlado formando filmes tribológicos estáveis, ajudando a manter o coeficiente de atrito (Nicholson, 1995; Blau, 2001).

Essas qualidades fazem do pó de caju um componente quase onipresente em pastilhas orgânicas não-amianto (NAO) e mesmo em formulações semi-metálicas, geralmente na faixa de 5–20% em peso. Por exemplo, empresas como a Cardolite (especialista em químicos de CNSL) produzem linhas de friccionantes de caju com diferentes granulometrias para ajuste fino das características de desgaste e ruído em travões de automóveis (Cardolite, 2020).

Importante notar que a utilização de derivados do caju em travões é tão significativa que a Índia grande produtora de CNSL exporta volumes consideráveis de pó de fricção para fabricantes de pastilhas globalmente (Tullo, 2008). Em Moçambique, onde se busca agregar valor à castanha, o desenvolvimento de uma indústria de friccionantes de caju poderia ser uma oportunidade estratégica. Em resumo, o CNSL modificou a

indústria de materiais de fricção, oferecendo uma alternativa bio-baseada para parte das resinas fenólicas e auxiliando no desempenho dos travões. Hoje, pastilhas de travão e discos de embriaguez representam um dos destinos tradicionais do CNSL, consubstanciando um caso de sucesso de aplicação de química renovável em um componente crítico automotivo (Balgude & Sabnis, 2014).

## **Vernizes e tintas**

Outro campo importante de uso dos derivados do CNSL é na formulação de tintas, vernizes e acabamentos protetores. O cardanol, em particular, tem sido empregado de múltiplas formas na indústria de revestimentos devido à sua natureza reactiva e simultaneamente plastificante. Algumas das aplicações incluem:

- **Resinas alquídicas modificadas:** O cardanol pode ser incorporado na síntese de resinas alquídicas (poliésteres modificados com óleos) para pinturas, actuando como monómero aromático parcialmente substituído do ftalato. Alquídes com cardanol tendem a apresentar secagem um pouco mais lenta, porém resultam em filmes com maior flexibilidade e resistência à água (Gite *et al.*, 2010). Além disso, a presença do anel fenólico confere certo carácter antioxidante, aumentando a durabilidade do filme.
- **Agentes de cura para epóxi (Fenalkaminas):** Uma aplicação de destaque do cardanol em tintas é na produção de fenalkaminas, que são endurecedores (curativos) poliamínicos para resinas epóxi. A partir do cardanol, realiza-se a reacção de Mannich com aminas e formaldeído, gerando moléculas poliamínicas adutoras – essas fenalkaminas são largamente utilizadas para cura de revestimentos epóxi de alto desempenho (pinturas de piso, revestimentos anticorrosão industriais) porque proporcionam cura em ambientes húmidos e a baixas temperaturas, além de conferir excelente aderência e resistência química aos revestimentos (Cardolite, 2019). As fenalkaminas derivadas de CNSL substituem curativos tradicionais baseados em nonilfenol (tóxico), sendo portanto uma alternativa mais ecológica e de menor impacto em saúde ocupacional (Resibras, 2023).

- **Diluentes reativos e plastificantes:** O cardanol, por ter baixa volatilidade e função fenólica, pode actuar como *diluyente reactivo* em sistemas epóxi – por exemplo, é possível epoxidar o cardanol (introduzindo uma função epóxi na cadeia alquil) e obter um pré-polímero que, ao ser misturado com resina epóxi padrão, reduz a viscosidade da mistura e co-polimeriza na cura, diminuindo o teor de solventes (Balgude & Sabnis, 2014). Pinturas epóxi modificadas com cardanol exibem menor emissão de VOC, maior flexibilidade pós-cura e boa resistência à água. O cardanol também pode ser usado como plastificante não-volátil em tintas à base de nitrocelulose e em alguns esmaltes sintéticos, melhorando a maleabilidade do filme e reduzindo risco de cracking.
- **Vernizes isolantes e anticorrosivos:** Vernizes fenólicos e epóxi-fenólicos contendo resina de cardanol encontram aplicação como revestimentos protetores internos de latas e tambores, revestimentos marítimos e vernizes de isolamento elétrico. Esses revestimentos se beneficiam da excelente resistência à umidade e produtos químicos conferida pela estrutura aromática reticulada, ao mesmo tempo em que a presença de cadeias longas do cardanol aumenta a hidrofobicidade e reduz a permeabilidade do filme (Balgude & Sabnis, 2014; Resibras, 2023). Por exemplo, revestimentos fenólicos de cardanol são usados como *liners* em tanques para produtos agressivos, onde combinam flexibilidade (para acomodar dilatações) com estabilidade térmica e química.
- **Tintas de secagem ao ar (óleo-modificadas):** Certos óleos fenólicos de caju foram desenvolvidos para uso como veículo em tintas industriais de secagem ao ar. Eles aproveitam a tendência de polimerização oxidativa dos insaturados presentes no cardanol (similar a um óleo secativo) e a capacidade de formar película. Essas tintas têm a vantagem de secar mais rápido que tintas a óleo convencionais e formarem películas duras e aderentes mesmo sem forno, sendo usadas em demãos anticorrosivas ou primers para metal (Patente US 3,836,494, 1974).

Em suma, tintas e vernizes representam um sector onde o CNSL agrega valor duplamente: como componente funcional que melhora o desempenho (anticorrosão,

flexibilidade, menor VOC) e como insumo renovável que substitui derivados de petróleo. No entanto, um aspecto a considerar é a coloração natural do CNSL por ser escuro, seu emprego pode conferir tonalidade amarelada ou castanha aos produtos (por exemplo, esmaltes claros ficam amarelados se alta carga de resina de caju for usada). Ainda assim, para muitas aplicações industriais, a cor não é crítica, ou pode-se refinar o cardanol para torná-lo mais claro. Empresas químicas têm catálogos específicos de resinas base CNSL para o sector de *coatings*, evidenciando a maturidade dessa aplicação (CashewChem, 2021). De acordo com dados de mercado, mais de 40% do cardanol produzido globalmente é consumido na fabricação de resinas para tintas e revestimentos (GlobalGrow, 2023), comprovando sua importância crescente como matéria-prima de *coatings*.

### **Resinas para revestimento e adesivos**

Além das tintas líquidas e vernizes, os componentes do CNSL são usados na síntese de diversos polímeros e resinas sólidas empregados em revestimentos de alto desempenho e adesivos industriais. Alguns exemplos incluem:

- **Resinas epóxi de cardanol:** A epoxidação do cardanol produz monómeros glico-éteres que podem ser co-curados com resinas epoxídicas convencionais ou usados isoladamente em sistemas 100% sólidos. Essas resinas epóxi baseadas em cardanol apresentam menor viscosidade intrínseca (pela flexibilidade da cadeia) e geram redes poliméricas menos rígidas, o que é útil para obter revestimentos com maior tenacidade e adesão a substratos difíceis (como concreto e aço) (Cardolite, 2019). São indicadas, por exemplo, para pisos industriais onde se requer resistência ao impacto e baixa tendência a fissuras.
- **Poliuretanos e poliure, a partir de polioliol de CNSL:** O cardanol pode ser convertido em polioliol (ex.: tríoliol) via reações de oxidação controlada ou adicionando grupos hidroxilo na cadeia, permitindo sua utilização na produção de espumas de poliuretano e adesivos poliuretânicos. Poliuretanos derivado de CNSL tendem a ser mais hidrofóbicos e ter boa estabilidade térmica, encontrando uso em espumas rígidas isolantes e adesivos estruturais (Balgude & Sabnis, 2014).

- **Resinas fenólicas modificadas:** já mencionado anteriormente, cardanol substitui parcialmente o fenol em resinas fenólicas para adesivos (por exemplo, adesivos de compensados de madeira e aglomerados). Essas resinas fenólicas-modificadas têm menor emissão de formaldeído residual e melhor molhabilidade da madeira, proporcionando colagem forte e durável mesmo para madeiras tropicais oleosas (Gonçalves et al., 2016). Grandes consumidores dessas resinas são as indústrias de madeira laminada colada e móveis.
- **Agentes tensoativos e dispersantes:** os ésteres sulfônicos do cardanol (ácidos sulfônicos de alquilfenol) e alquilfenol etoxilado de cardanol são utilizados como surfactantes não iônicos e aniônicos em formulações industriais, incluindo emulsões asfálticas e tintas emulsionadas. De fato, pigmentos de tintas aquosas podem ser dispersos com auxílio de derivados surfactantes de cardanol, que combinam o anel aromático (afinidade pelo pigmento orgânico) com a cadeia longa (estabilização estérica em meio aquoso). Um exemplo é o uso de sais de cardanol sulfonado como dispersante de negro de fumo ou dióxido de titânio em tintas de base água, melhorando a estabilidade e cobertura (Ramesh et al., 2018).
- **Adesivos de atrito e abrasivos:** Resinas fenólicas de CNSL também actuam como ligantes em rodas abrasivas, pastilhas de freio (como colas para fixar o material de fricção ao sapato metálico) e em discos de corte. Elas fornecem a resistência térmica necessária nessas aplicações, mas com leve flexibilidade extra que impede trincas sob choque mecânico (Blau, 2001). Muitos compostos de lonas de freio antigas usavam “óleo de caju polimerizado” como aditivo para evitar vitrificação do material.

Em todos esses exemplos, observa-se que o papel do CNSL é duplo: (1) do ponto de vista químico-técnico, aporta funcionalidades ou propriedades específicas (hidrofobicidade, flexibilidade, reatividade fenólica); (2) do ponto de vista económico-estratégico, insere um componente renovável e potencialmente de menor custo (em regiões produtoras) na cadeia produtiva de polímeros. Não surpreende, portanto, que cada vez mais estudos surjam propondo novas moléculas derivadas do caju para aplicações emergentes – desde microcápsulas poliméricas para liberação controlada

(Ikeda et al., 2000) até aditivos para lubrificantes e fluidos de perfuração petrolífera (Nambiar *et al.*, 2017). Entretanto, é importante destacar que, apesar de todas essas possibilidades, ainda apenas uma fração do CNSL disponível é aproveitada industrialmente estima-se que menos de 50% do cardanol global é de fato convertido em produtos químicos, com o restante subutilizado ou queimado como combustível (Tullo, 2008). Isso indica um grande potencial de expansão para as aplicações do CNSL conforme avanços tecnológicos e aumento da demanda por materiais sustentáveis.

### 2.3. Tintas

O termo tinta refere-se a uma mistura complexa que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície, forma um filme sólido opaco com função decorativa e/ou protectora (Porto Editora, 2023). As tintas têm um papel omnipresente na sociedade – protegendo estruturas contra corrosão e intempéries, conferindo cores e acabamentos estéticos a objectos, sinalizando informações em pavimentos, entre outras utilidades. Do ponto de vista da formulação, as tintas são sistemas heterogêneos que contêm vários componentes com funções específicas. Para entender como os derivados do CNSL podem ser incorporados em tintas (seja como resinas, solventes ou aditivos), é fundamental revisar brevemente a composição básica das tintas e os principais tipos existentes.

#### 2.3.1. Componentes

Uma tinta típica consiste essencialmente de quatro componentes básicos: resina (ou ligante), pigmentos (e cargas), solvente (ou diluente) e aditivos (Porto Editora, 2023). Cada um desempenha um papel essencial na formulação e no desempenho final do filme seco:

- **Resina (Ligante):** é o componente formador de filme. Trata-se de um polímero (natural ou sintético) que, após a aplicação e secagem da tinta, permanece na superfície ligando os pigmentos entre si e ao substrato, formando uma película contínua. A resina define em grande parte propriedades como aderência, durabilidade, resistência química, flexibilidade e o tipo de acabamento (brilho/fosco) da tinta. Exemplos: resinas alquídicas em esmaltes sintéticos,

acrílicas em tintas látex, epóxi e poliuretano em revestimentos industriais, etc. No caso de tintas base água, o ligante pode estar na forma de dispersão polimérica (látex). Já em tintas solvente, é dissolvido num meio orgânico volátil.

- **Pigmentos:** São partículas sólidas, geralmente insolúveis, que conferem cor e poder de cobertura à tinta. Podem ser pigmentos activos (colorantes, como dióxido de titânio para branco, óxidos de ferro para amarelo/vermelho, ftalocianina de cobre para azul, etc.) ou pigmentos inertes/extensores (também chamados de cargas, ver abaixo). Os pigmentos activos proporcionam cor e opacidade, enquanto as cargas ajustam propriedades mecânicas, brilho e custo. Uma tinta pode conter uma mistura de vários pigmentos para atingir a tonalidade e opacidade desejadas.
- **Cargas (extenders):** as cargas são um tipo de pigmento inerte, usualmente de cor branca ou neutra, adicionadas para conferir propriedades físicas (como resistência à abrasão, controle de brilho, espessura do filme) e reduzir o custo (já que são geralmente mais baratas que pigmentos de alto desempenho). Exemplos comuns incluem carbonato de cálcio, caulim, talco, barita e sílica micronizada (Tullo, 2008). As cargas aumentam o volume sólido da tinta, melhoram a consistência e podem influenciar características como lixabilidade, dureza e adesão do filme. Embora não contribuam para a cor em si, são fundamentais em tintas arquitectónicas (ex.: tintas látex usam grandes quantidades de cargas para obter boa cobertura seca e resistência a lavagens).
- **Solventes (ou Diluentes):** São os veículos líquidos voláteis que servem para dissolver/dispersar a resina e os demais componentes, ajustando a viscosidade da tinta para aplicação. Os solventes evaporam durante e após a aplicação, não permanecendo (idealmente) no filme final. Em tintas *base solvente*, usam-se hidrocarbonetos (aguarrás/white spirit, xileno, tolueno), álcoois, ésteres, cetonas, entre outros, dependendo da resina. Em tintas *base água*, o principal diluente é a água, embora coalescentes e glicóis possam actuar como cosolventes. A escolha do solvente afecta fortemente o tempo de secagem, o nivelamento, o brilho e a compatibilidade com o substrato. Por exemplo, aguarrás mineral (white spirit) é comum em esmaltes sintéticos por ter volatilidade média que permite

bom alastramento do pincel antes de secar, enquanto solventes como xilol e acetona evaporam mais rápido, adequados para tintas de secagem rápida ou aplicação spray (Álvaro, 2024).

- **Aditivos:** São ingredientes secundários adicionados em pequenas quantidades para ajustar propriedades específicas da tinta ou facilitar sua manufatura/conservação. Incluem, por exemplo: secantes (driers) para acelerar cura oxidativa de tintas a óleo; anti-espumantes e agentes de nivelamento para evitar defeitos como bolhas e marcas de pincel; conservantes biocidas para evitar bolor em tintas aquosas; agentes espessantes/reológicos para dar consistência adequada (evitar escorrimento e sedimentação); dispersantes de pigmento (como polímeros acrílicos ou poliuretanos) para estabilizar as partículas na lata e durante a aplicação; e anti-skin (antipelícula) em tintas de lata aberta. Apesar de minoritários na fórmula, os aditivos podem ter grande impacto na qualidade final da tinta, garantindo, por exemplo, que não decante no armazenamento, que seque de maneira uniforme ou que tenha boa resistência ao intemperismo.

Essa combinação complexa faz das tintas produtos de alta engenharia formulados para um desempenho específico. Por exemplo, uma tinta automotiva de alta qualidade terá resinas acrílicas ou poliuretânicas para durabilidade, pigmentos orgânicos/inorgânicos para cor vibrante, solventes rápidos para facilitar aplicação em spray e aditivos UV para resistência ao sol. Já uma tinta imobiliária econômica terá látex vinílico, bastante carga ( $\text{CaCO}_3$ ) para volume, água como solvente e secagem lenta, etc.

Para fins desta revisão, interessa notar que o CNSL e derivados podem participar de várias dessas categorias de componentes: (a) pode ser parte da **resina** (ex: resina fenólica ou epóxi modificada com cardanol, conforme discutido); (b) pode actuar como solvente/diluyente (o cardanol é pouco volátil, mas o próprio óleo de CNSL ou fracções leves podem ser usados como co-solventes em primers industriais, e há também o *cashew nut shell liquid solvent* vendido para tintas industriais como substituto parcial de hidrocarbonetos); (c) pode ser ingrediente de aditivos, como dispersantes de pigmento à base de alquilfenol polietoxilado (derivado do cardanol) ou secantes organometálicos (sais de ácidos anacárdicos com metais, testados como secativos “verdes”) (Osmari et

al., 2015). Assim, compreender a função de cada componente permite identificar melhor onde os produtos do caju podem se encaixar numa formulação de tinta.

### 2.3.2. Tipos de tintas

As tintas podem ser classificadas de diversas formas – por exemplo, quanto ao meio de dispersão (solventes vs. base aquosa), quanto ao tipo de resina, quanto à finalidade de uso (decorativa, industrial, automotiva, em pó, etc.). Uma classificação usual em manuais de química de tintas é segundo a natureza química do ligante (resina), pois isso determina em grande parte as características e aplicação da tinta (Tullo, 2008). Sob esse critério, podem-se listar, entre outras, as seguintes categorias principais (Tullo, 2008):

- **Tintas Alquílicas (esmaltes sintéticos):** usam resinas alquílicas (poliésteres modificados com óleos secativos). São tintas de uso geral, base solvente (aguarrás), secando por oxidação. Boa aderência e facilidade de aplicação, porém secagem mais lenta e menor resistência ao intemperismo prolongado. Exemplos: esmaltes para metais e madeiras em construções, tintas automotivas antigas.
- **Tintas Acrílicas:** podem ser tanto base água (látex acrílico) quanto base solvente (resinas acrílicas termoactivadas). As à base de água são muito usadas em paredes (tinta látex), com secagem rápida, baixo odor e boa resistência a UV quando 100% acrílicas. As acrílicas base solvente são usadas em repintura automotiva e revestimentos industriais, fornecendo alta dureza e durabilidade. As resinas acrílicas são polímeros de metacrilato/acrilato.
- **Tintas Vinílicas (PVAc):** baseadas em copolímeros de acetato de vinila, são comuns em tintas imobiliárias económicas (*látex PVA*). Têm menor resistência à água e ao desgaste do que as acrílicas, mas custam menos. Indicadas para interiores.
- **Tintas Epóxi:** formuladas com resinas epóxi (bisfenol-A/F epóxi) e endurecedores (aminas, poliamidas, fenalkaminas). São geralmente de **dois componentes** misturados na hora do uso. Após cura química, produzem filmes

altamente resistentes quimicamente e muito aderentes. Utilizadas em pisos industriais, tanques, tubulações, revestimentos marítimos e estufas.

- **Tintas Poliuretano:** também de dois componentes (poliol + isocianato), fornecem acabamentos de altíssima resistência mecânica e química, e ótima retenção de brilho. Muito usadas como camada final em pinturas automotivas e industriais. Podem ser alifáticas (não amarelam) ou aromáticas (menos estáveis à luz). Necessitam catalisador isocianato, e contêm solventes como acetato de butila, xileno.
- **Tintas Nitrocelulose:** baseadas em resina nitrocelulose e alquídicas modificadas, dissolvidas em solventes rápidos (thinner). Eram tradicionais em repintura automotiva (duco) e em móveis, secando por evaporação muito rápida e sendo fáceis de polir. Hoje substituídas em grande parte por acrílicas e poliuretanos, devido a menor resistência química.
- **Tintas de Borracha Clorada:** usam resina de borracha clorada como ligante. São tintas monocomponentes de secagem rápida, com boa resistência a água e químicos. Empregadas como demarcação viária, piscinas e proteção anticorrosiva de curto prazo. Solventes: tolueno, etc.
- **Tintas de Silicone:** utilizam resinas silicônicas (polisiloxanos). Resistentes a altíssimas temperaturas (até 600 °C), usadas em tintas para escapamentos, fornos e churrasqueiras. Têm baixo desempenho mecânico mas excelente estabilidade térmica.
- **Tintas à base de Silicatos:** são tintas minerais (ex.: tintas para fachadas base silicato de potássio), que reagem quimicamente com substratos minerais. Formam filmes inorgânicos altamente duráveis e permeáveis ao vapor – indicadas para conservação de património histórico.

Outra forma de classificar tintas é pelo mecanismo de secagem/cura: algumas secam por evaporação de solvente (físico, como as tintas nitrocelulose e pva látex), outras por oxidação (tintas óleo e alquídicas, que precisam de oxigénio e usam secantes para catalisar), outras por reacção química de cura (tintas epóxi, PU, que polimerizam por reacção dos componentes) (Cardolite, 2020). Há também as tintas em pó, que não

usam solvente: são pós termofixos (epóxi, poliéster) aplicados eletrostaticamente e curados em estufa sobre a peça formam revestimentos muito uniformes e resistentes, comuns em linha branca e esquadrias metálicas.

Nesta revisão, o interesse recai especialmente sobre tintas epóxi e possivelmente alquídicas (dado que o *white spirit* e secantes se aplicam a estas). Vale mencionar também o aspecto dos agentes secantes: conforme citado, as tintas que secam por oxidação (alquídicas e óleos) geralmente incluem secantes metálicos (também chamados driers ou secativos) como aditivos para acelerar o processo. Veremos adiante os detalhes e um exemplo de secante comercial.

Em conclusão desta seção, fica evidente a diversidade de tintas existentes. Cada tipo de tinta demanda certos componentes e aditivos específicos para atingir seu propósito. A incorporação de uma matéria-prima alternativa como o CNSL em formulações de tinta dependerá de qual tipo se trata. Por exemplo, estudos apontam que poliuretanos e epóxios podem incorporar polioli de CNSL ou fenalkaminas de CNSL para melhorar sustentabilidade (Balgude & Sabnis, 2014), enquanto tintas alquídicas podem usar cardanol para melhorar brilho e flexibilidade (Gite et al., 2010). Já tintas aquosas poderiam se beneficiar de surfactantes e dispersantes derivados de cardanol. O próximo item (3.5) discute o processo de fabricação de tintas e enfatiza alguns componentes práticos (como o *Disperbyk*, o *white spirit*, o xileno e secantes) ilustrando seu papel, possivelmente relacionando com o contexto do óleo de caju.

#### **2.4. Processo de fabricação das tintas**

A fabricação de tintas envolve uma série de operações unitárias e etapas de formulação que visam dispersar eficientemente os pigmentos na resina, ajustar a viscosidade e incorporar aditivos de maneira homogênea. De forma simplificada, pode-se dividir o processo em: pesagem dos ingredientes, pré-mistura, moagem de pigmentos, complementação (let-down), ajuste de propriedades (filtragem, cor) e envase (Cardolite, 2020). Uma etapa crucial é a de moagem/dispersão, onde os pigmentos e cargas sólidos são incorporados na resina sob cisalhamento intenso (usando moinhos de esferas, dispersores de alta velocidade ou mixers) para quebrar aglomerados e alcançar uma distribuição fina e uniforme das partículas na matriz da

tinta. Nessa fase, o uso de aditivos dispersantes é determinante para obter um resultado ideal aditivos poliméricos (como o DISPERBYK, discutido adiante) adsorvem na superfície dos pigmentos e evitam sua reaglomeração, facilitando a moagem e estabilizando a mistura (BYK, 2023). Após a dispersão, a fase de let-down consiste em diluir a pasta pigmentária no restante da resina e solventes, adicionando demais aditivos sensíveis (antiespumantes, secantes, etc.) sob agitação leve.

Controlar a viscosidade e as propriedades reológicas durante a fabricação é essencial: a tinta deve estar fluida o suficiente para processar, porém não tão fina que cause sedimentação rápida. Muitas formulações ajustam isso com aditivos tixotrópicos ou controladores de fluxo (e.g., argilas organofílicas, poliuretanos associativos, etc.). Uma vez pronta, a tinta passa por testes de qualidade (cor, brilho, tempo de secagem, viscosidade, estabilidade de armazenamento) e então é embalada.

Nesta subsecção, focaremos em aspectos específicos relacionados ao processo produtivo das tintas que tangenciam o tema do CNSL: tomaremos a tinta epóxi como exemplo de formulação e discutiremos a utilização do aditivo Disperbyk na dispersão de pigmentos nessa tinta (especialmente quando há óleo de caju no meio), além de apresentar os benefícios do white spirit como solvente e as funções do xileno, dois solventes comuns. Por fim, abordaremos a questão dos secantes metálicos (catalisadores de secagem oxidativa) e em particular um secante codificado como 03102-0000, utilizado em tintas.

#### **2.4.1. Tinta epóxi**

As tintas epóxi constituem uma classe de revestimentos de alto desempenho muito utilizada em ambientes industriais e protecções anticorrosivas exigentes. São tipicamente sistemas bicombinantes, ou seja, fornecidos em dois componentes separados que são misturados apenas pouco antes da aplicação: um componente contém a resina epóxi (geralmente um pré-polímero glicidílico, como diglicidil éter de bisfenol-A, possivelmente já pigmentado), e o outro contém o agente de cura (endurecedor), usualmente uma poliamina, poliamida ou aduto amínico (Sienge, 2023). Quando misturados, inicia-se uma reacção de polimerização por adição nucleofílica dos

grupos amina aos grupos epóxi, formando uma rede tridimensional termoendurecida. Essa reação, uma vez completa, é irreversível resultando num filme sólido com propriedades notáveis: altíssima aderência ao substrato, resistência à abrasão e impacto, impermeabilidade e resistência química a óleos, solventes e soluções alcalinas/ácidas (Cardolite, 2020).

Durante a aplicação, a tinta epóxi é normalmente de média a alta viscosidade e pode ser aplicada por pincel, rolo ou pistola (neste caso, muitas vezes precisa ser diluída com solvente apropriado, como xileno ou blends aromáticos). O tempo de manuseio (“pot life”) após a mistura dos componentes varia conforme a formulação – tipicamente de 4 a 8 horas a 25 °C – e a secagem ao toque ocorre em poucas horas, mas a cura completa química pode levar alguns dias a baixas temperaturas (Sienge, 2023). Algumas formulações modernas usam endurecedores especiais (fenalkaminas, por exemplo, derivadas de cardanol) que permitem cura mesmo em superfícies húmidas e a temperaturas próximas de 0 °C, ampliando a aplicabilidade em campo (Cardolite, 2019).

Uma tinta epóxi contém, além da resina base e do endurecedor, pigmentos (por exemplo, óxido de ferro micáceo em primers epóxi, pigmentos de cor em acabamentos epóxi), cargas (talco, barita frequentemente) para dar espessura e resistência mecânica, solventes (no caso de sistemas solventados) e aditivos. Em tintas epóxi de alto teor de sólidos ou isentas de solvente, o desafio é conseguir baixar a viscosidade da mistura resina+pigmentos para torná-la aplicável, sem acrescentar solvente que prejudique a espessura de camada e a cura. Nisso entram as estratégias de diluentes reactivos e aditivos dispersantes.

No contexto deste trabalho, vale destacar que derivados do CNSL têm sido introduzidos nas tintas epóxi de algumas maneiras: i) como comentado, fenalkaminas de cardanol como endurecedores; ii) cardanol epoxiado como diluente reactivo de baixa viscosidade, reduzindo VOC; iii) como aditivo flexibilizante (epóxi de cardanol cocurado confere ductilidade à rede); iv) possivelmente como agente anticorrosivo (há estudos sugerindo que a presença do anel fenólico e do grupo hidróxi no cardanol actuam como inibidores de corrosão em revestimentos, formando complexos protectores em superfícies metálicas) (Rajan et al., 2013).

Uma tinta epóxi formulada com tais modificações pode assim ter maior conteúdo bio-baseado sem sacrificar desempenho. Por exemplo, Cardolite Corp. desenvolveu resinas epóxi baseadas em cardanol (linha LITE 3020, etc.) que, quando comparadas a epóxios convencionais, apresentaram melhor flexibilidade e retenção de adesão após envelhecimento, além de reduzir emissão de compostos orgânicos voláteis (Balgude & Sabnis, 2014).

No processo de produção de uma tinta epóxi pigmentada, a dispersão dos pigmentos é fase crítica. Pelo fato de as resinas epóxi serem viscosa e muitas vezes a formulação ter pouco ou nenhum solvente, usa-se alta energia para moer os pigmentos. Aditivos dispersantes são quase indispensáveis para facilitar essa incorporação. Um dos aditivos conhecidos são os da linha DISPERBYK (BYK-Chemie), projectados para sistemas solventes ou sem solvente de alta intensidade. Na subsecção a seguir, discute-se o uso do Disperbyk numa situação específica: produção de tinta com resina de CNSL.

#### **2.4.2. Benefícios do uso do DISPERBYK**

Os aditivos da família DISPERBYK são copolímeros de estrutura especial que actuam simultaneamente como umectantes e dispersantes de partículas sólidas (BYK, 2023). Sua função é reduzir a tensão superficial entre os pigmentos e o meio resinoso, permitindo que as partículas sólidas sejam molhadas e se separem umas das outras sem formar aglomerados (flóculos). Além disso, eles estabilizam as partículas dispersas através de barreiras estéricas e/ou cargas elétricas, impedindo que voltem a se agregar (BYK, 2023). O resultado é uma dispersão pigmentária mais fina (a cor desenvolve máximo poder de tingimento e cobertura) e mais estável ao armazenamento (evita sedimentação dura).

Na produção de uma tinta que utiliza resina fenólica modificada com óleo de castanha de caju (por exemplo, um primer fenólico para concreto ou uma tinta óleo resinada com cardanol), a fase de moagem dos pigmentos nessa resina viscosa pode ser desafiadora. A adição de um aditivo como o *DISPERBYK-110* ou *DISPERBYK-192* – ambos indicados para sistemas solvente de alta polaridade e resinas

alquídicas/fenólicas – auxilia significativamente na incorporação do pigmento (Knowde, 2020). Conforme diretrizes da Cardolite (que fabrica resinas de CNSL), dispersantes como DISPERBYK-192 devem ser incluídos na fase de moagem para melhorar o molhamento dos pigmentos em presença das resinas de CNSL, que geralmente têm viscosidade alta e carácter polar.

Por exemplo, imagine-se formular uma tinta primer marrom usando *resina fenólica-cardanol*, pigmento óxido de ferro e cargas de sílica. Sem dispersante, o pigmento de óxido de ferro poderia formar grumos, dificultando a moagem e resultando em perda de cor e brilho. Com a adição de ~1-2% de DISPERBYK (sobre peso do pigmento), observa-se tipicamente uma redução da viscosidade da pasta pigmentária, indicando melhor umectação, e após a moagem obtém-se uma dispersão fina e homogênea, com ganho de desenvolvimento de cor e estabilidade (BYK, 2023). Adicionalmente, esses aditivos ajudam a reduzir a demanda de solvente para atingir certa viscosidade de aplicação, pois o sistema disperso flui melhor. Isso é particularmente útil se queremos manter alto teor de sólidos (como é desejável em tintas com óleo de caju, para aproveitar seu conteúdo não volátil).

De acordo com a BYK (2023), os produtos DISPERBYK são compatíveis com uma variedade de solventes orgânicos e sistemas base óleo. Por exemplo, o *DISPERBYK-107* é recomendado para tintas arquitectónicas base solvente com resinas alquídicas, e apresenta 81% de carbono bio-baseado, sendo um aditivo moderno alinhado à sustentabilidade (BYK, 2023). Ele proporciona dispersão fina de pigmentos inorgânicos e orgânicos e estabilidade a longo prazo, prevenindo floculação e sedimentação. Essa informação sugere que, mesmo ao introduzir uma resina “não convencional” como uma fenólica de CNSL, é possível ajustar a formulação com o dispersante adequado para garantir que os pigmentos sejam incorporados de forma eficiente e a tinta final tenha as propriedades desejadas.

Resumindo, o uso de DISPERBYK, ou aditivos análogos, na produção de tintas contendo óleo de castanha de caju é altamente benéfico. Ele assegura a qualidade da dispersão pigmentária, permitindo que o potencial dos pigmentos seja plenamente aproveitado, e facilita o processamento industrial (menor tempo de moagem, menor energia consumida, formulações de alta viscosidade se tornando manejáveis). Em

última análise, o aditivo contribui para que mesmo formulações com componentes alternativos (como resinas de fonte renovável) possam atingir performance equiparável às convencionais, garantindo uniformidade de cor, brilho e estabilidade nas prateleiras.

### 2.4.3. Benefícios do uso de white spirit

O White Spirit, conhecido também como *aguarrás mineral* ou *espírito mineral*, é um dos solventes mais tradicionais na fabricação de tintas e vernizes à base de solvente. Trata-se de uma fracção hidrocarbónica derivada do petróleo, composta majoritariamente de alifáticos C<sub>7</sub>–C<sub>12</sub> (alcanos e cicloalcanos), com uma pequena parcela de aromáticos (dependendo do grau, os aromáticos variam de <1% em white spirit inodoro até ~15–20% nos tipos comuns). É um líquido transparente, insolúvel em água, com odor característico de solvente de tinta. Seu ponto de destilação varia tipicamente entre 140 °C e 200 °C, o que lhe confere uma taxa de evaporação moderada mais lenta que a da acetona ou do tolueno, porém mais rápida que a de óleos pesados (WHO, 1996).

Os benefícios do white spirit no âmbito das tintas são vários:

- **Excelente poder de solvência para resinas alquídicas e oleosas:** O white spirit dissolve bem polímeros apolares e de média polaridade. Resinas alquídicas longas em óleo (como as usadas em esmaltes sintéticos) e óleos secativos (linhaça, tungue) têm grande miscibilidade com white spirit, formando soluções estáveis. Isso o torna ideal como diluente principal dessas tintas tradicionais (Porto Editora, 2023).
- **Taxa de evaporação adequada:** por evaporar nem muito rápido nem muito devagar, o white spirit permite uma secagem equilibrada. Quando uma tinta a pincel é aplicada, o solvente não deve evaporar instantaneamente (o que causaria mau nivelamento e marcas de pincel), mas também não deve permanecer por tempo excessivo (o que retardaria a secagem do filme). O *white spirit* atende bem esse compromisso; ele dá tempo para o espalhamento da tinta e auto-nivelamento, mas evapora dentro de horas, deixando a película secar ao

toque geralmente em até 8–10 horas (dependendo da umidade e adição de secantes) (Cardolite, 2020).

- **Menor toxicidade e odor em comparação a outros solventes aromáticos:** embora o white spirit contenha aromáticos, sua fracção aromática é controlada e a pressão de vapor total é mais baixa que a de solventes como benzeno ou tolueno. Versões desaromatizadas (“odorless mineral spirits”) praticamente não têm cheiro forte, melhorando as condições de aplicação em ambientes fechados (WHO, 1996). Isso traz benefício de saúde e segurança para pintores e usuários.
- **Ampla disponibilidade e custo acessível:** por ser um derivado directo do petróleo (sem funcionalização química), o *white spirit* é produzido em larga escala e tem baixo custo por litro. Representa um dos solventes mais utilizados pela indústria de tintas estima-se que cerca de 60% do consumo de solventes em tintas, vernizes e lacas na Europa Ocidental seja de *white spirit* ou similares (WHO, 1996). Essa ubiquidade torna-o um insumo padrão, com cadeia de suprimento consolidada.
- **Propriedades técnicas vantajosas:** O white spirit tem ponto de fulgor relativamente elevado ( $\approx 38\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), o que embora não seja não-inflamável, confere um pouco mais de segurança no manuseio comparado a solventes de baixo ponto de fulgor (como acetona ou éter). Além disso, não é excessivamente volátil, reduzindo problemas de bolhas ou *cratering* em películas, e evita o “branqueamento” (*blushing*) que solventes muito rápidos podem causar pela condensação de humidade.

Por esses motivos, o *white spirit* é chamado de “solvente padrão” da indústria de tintas especialmente em tintas arquitectónicas base solvente, esmaltes, primers sintéticos, vernizes alquídicos e tintas óleo. Em formulações com resinas fenólicas (por exemplo, um verniz marítimo de resina fenólica), o *white spirit* também é compatível e ajuda na aplicação suave.

Em termos de formulação, os benefícios concretos incluem: facilidade de ajuste de viscosidade (pequenas adições alteram a viscosidade de forma previsível devido à boa

solvência), boa tensão superficial (molha bem superfícies a serem pintadas, contribuindo para aderência), e secagem sem deixar resíduos (diferente de solventes ativos que podem plastificar a tinta).

Um exemplo prático: um esmalte sintético alquídico brilhante contém tipicamente 40–50% de *white spirit* como solvente. Esse solvente proporciona a reologia certa para aplicação a pincel a tinta se espalha e nivela, e o solvente evapora gradativamente, permitindo que a resina alquídica comece a oxidar uniformemente em toda a película. Caso se substituísse o *white spirit* por um solvente inadequado (muito rápido, como acetato de etila, ou muito lento, como óleo mineral pesado), o resultado seria inferior: secagem descontrolada ou demora excessiva, defeitos de filme, etc. Portanto, o *white spirit* acerta no “ponto ótimo” para essas tintas convencionais.

Além disso, o *white spirit* também é valorizado no pós-uso – por exemplo, para limpeza de pincéis e equipamentos após aplicação de tintas a óleo. Sua solvência remove a tinta fresca eficazmente e seu ponto de fulgor mais alto o torna um pouco menos perigoso que gasolina ou outros solventes leves para esse fim (WHO, 1996).

Resumindo, os benefícios do uso do *white spirit* na produção de tintas incluem: versatilidade como diluente, balanceamento ideal entre evaporação e nivelamento, compatibilidade com diversas resinas, baixo custo e ampla disponibilidade, e melhor perfil de odor/toxicidade comparado a solventes aromáticos puros. Embora hoje haja movimentos para reduzir VOCs (e, portanto, reduzir o uso de solventes como *white spirit*), ele ainda permanece insubstituível em muitas formulações tradicionais. Mesmo em contextos onde se busque incorporar insumos bio (como resinas de CNSL), o *white spirit* pode continuar sendo o solvente de escolha para manter as propriedades de aplicação adequadas, até que alternativas verdes (por exemplo, solventes derivados de plantas) possam competir em custo e performance.

#### **2.4.4. Funções do Xileno na Produção de Tintas**

O **xileno** (também chamado xilol) é outro solvente orgânico amplamente utilizado em tintas e revestimentos, notadamente em produtos industriais e automotivos.

Quimicamente, o xileno refere-se a uma mistura dos três isômeros dimetilbenzeno (orto-, meta- e para-xileno), frequentemente contendo também um pouco de tolueno e etilbenzeno. É um líquido aromático incolor, de odor forte, com ponto de ebulição em torno de 137–143 °C e densidade ~0,87 g/cm<sup>3</sup> (Álvaro, 2024). Suas propriedades solventes são mais “fortes” que as do white spirit, devido à natureza aromática – dissolve muito bem resinas polares e não polares, incluindo poliésteres insaturados, epóxis, acrílicas e poliuretanos.

No contexto de produção de tintas, o xileno desempenha **funções importantes**:

- **Solvente de alta solvência e poder de diluição:** O xileno é considerado um solvente “forte” ele consegue dissolver resinas que hidrocarbonetos alifáticos não dissolvem eficientemente. Por exemplo, em tintas base epóxi ou poliuretano, frequentemente o diluente recomendado é uma mistura de aromáticos como xileno e n-butanol, pois a resina epóxi (base bisfenol-A) requer solvência aromática. O xileno, portanto, assegura que a tinta atinja a viscosidade de aplicação necessária e permaneça estável sem precipitação de componentes (Cardolite, 2020).
- **Secagem rápida e completa:** O xileno tem uma velocidade de evaporação mais rápida que o white spirit, mas não tão rápida quanto solventes leves tipo acetona. Isso faz com que tintas formuladas com xileno sequem relativamente depressa ao tacto, agilizando repintura ou manuseio da peça pintada. Essa característica é explorada em tintas industriais de secagem rápida, sprays automotivos e primers epóxi. Ademais, por ser um solvente “puro” (volatiliza inteiramente), não deixa resíduos oleosos no filme contribuindo para um acabamento limpo e livre de pegajosidade (Parapiscina, 2023).
- **Melhora da fluidez e nivelamento:** Devido à sua menor tensão superficial comparada a solventes alifáticos, o xileno **umedece muito bem a superfície** a ser pintada e os pigmentos na tinta (Parapiscina, 2023). Isso resulta em uma aplicação mais uniforme: o xileno ajuda a tinta a se “esticar” e nivelar, reduzindo defeitos como craters ou olhos de peixe. Em tintas spray, a presença de xileno no thinner de diluição confere à tinta atomizada boa coalescência das gotículas na superfície, resultando em um filme liso e brilhante.

- **Componente de thinner e redutores:** O xileno é um dos ingredientes principais em diversos *thinners* comerciais (misturas para diluição de tintas). Por exemplo, o thinner padrão para tintas nitrocelulose e sintéticas tem alto teor de tolueno/xileno. Nesses thinners, o xileno ajuda a diluir e reduzir a viscosidade das tintas para aplicação, melhorando a aplicação e fluidez (Parapiscina, 2023). Em vernizes e esmaltes aplicados à pistola, a presença de xileno permite obter uma névoa de spray fina e um nivelamento óptimo do filme antes de secar.
- **Conferir resistência e acabamento ao filme:** como o xileno evapora ligeiramente mais devagar que tolueno, ele dá um pouco mais de tempo para que a tinta nivelada comece a secar, prevenindo defeitos de secagem excessivamente rápida (Parapiscina, 2023). Além disso, tintas formuladas com solventes aromáticos tendem a gerar filmes mais duros e resistentes (isso é observado, por exemplo, comparando um esmalte sintético base aromática vs base alifática – o aromático costuma dar película mais dura, possivelmente pelo melhor entrelaçamento polimérico e menor retenção de solvente). O xileno também contribui para brilho: ao permitir boa ancoragem dos polímeros antes de evaporar, resulta em superfície mais reflectiva.

Exemplificando com uma aplicação: uma tinta epóxi de dois componentes para pisos pode usar cerca de 5–15% de xileno para ajustar viscosidade de aplicação. Nesse sistema, o xileno dissolve a resina epóxi base, tornando-a fluida para rolar no piso; após aplicação, o xileno evapora em 30–60 minutos, e a reacção de cura prossegue. O benefício é que, por volatilizar rápido, o xileno não atrapalha a reacção (como faria um solvente residual) e não fica preso no filme (o que poderia originar bolhas). Assim, obtém-se um revestimento epóxi denso, com excelente aderência e cura completa, graças em parte ao uso do xileno como solvente de processo.

Outro exemplo: nos esmaltes automotivos de secagem ao ar ou em estufa, o uso de xileno (e tolueno) é vital. Ele permite a *pulverização* adequada (formação de finos droplet no ar), garantindo um acabamento homogéneo. Após aplicação, sua rápida saída evita que poeiras se fixem ou que camadas muito espessas escorram. Adicionalmente, por ser aromático, ele contribui para a compatibilidade entre camadas

(primer -> basecoat -> clearcoat), pois todos usam solventes da mesma natureza, prevenindo reacções indesejadas ou levantamento.

Em síntese, as funções do xileno na produção de tintas englobam: agir como solvente forte para dissolver resinas difíceis, diluir e reduzir viscosidade para aplicação (especialmente em pistola), proporcionar secagem rápida e bom acabamento, e **melhorar a molhagem e aderência** da tinta sobre as superfícies. É claro que seu uso não é isento de preocupações o xileno é inflamável e tem toxicidade significativa (inalação de vapores causa efeitos neurológicos, daí a necessidade de ventilação e EPI) (Resibras, 2023). Contudo, no ambiente controlado de fábricas de tintas e oficinas, com as precauções adequadas, os benefícios técnicos do xileno superam os contras, tornando-o um dos pilares solventes das formulações industriais.

#### 2.4.5. Secante de Cobalto na produção de tintas

Em tintas que curam por mecanismos oxidativos (como óleos e resinas alquídicas de secagem ao ar), é comum a adição de secantes também conhecidos como *driers* ou *secativos metálicos*. Esses aditivos catalisam a reacção de polimerização oxidativa dos ligantes insaturados, acelerando o tempo de secagem superficial e/ou em profundidade da tinta (Meltchem, 2018). Os secantes são geralmente compostos de sais metálicos de ácidos orgânicos (soaps), tradicionalmente derivados de metais de transição como cobalto, manganês, chumbo (hoje menos usado), cálcio, zirconio, entre outros (Resibras, 2023).

Secantes de cobalto são comercializados como soluções de cobalt 2-ethylhexanoate (cobalto octoato) em solvente hidrocarboneto, tipicamente com 10% de Co. Seu efeito é acelerar a formação de radicais livres peróxidos nos ligantes insaturados, iniciando a reticulação oxidativa.

As **funções e importância** de um secante como este na produção de tintas são:

- **Acelerar a secagem ao ar:** em uma tinta alquídica sem secantes, a secagem natural poderia levar vários dias para atingir toque seco, pois a reacção de oxidação do óleo é lenta. Com a adição de 0,005–0,02% de Co metal sobre o sólido (valores típicos), consegue-se reduzir o tempo de secagem para horas, compatível com aplicações práticas (Allnex, 2023). O cobalto actua fortemente

na secagem superficial (*dry-to-touch*), prevenindo que a tinta fique “grudenta” por longo tempo.

- **Secagem uniforme e completa:** Secantes vêm em classes: primários (cobalto, manganês) dão secagem de superfície, secundários (chumbo, zircônio, estrôncio) ajudam na secagem interna do filme, e auxiliares (cálcio) mantêm a coordenação e previnem exsudação. Os secantes podem ser combinados, por exemplo contendo Co e Ca. O papel desses secantes combinados é garantir que a tinta seque por completo – evitando o fenômeno de “pele” (filme seco por fora, mas húmido por dentro). Secantes de manganês podem substituir cobalto em parte, dando secagem mais lenta, porém menos tendência a amarelar tintas claras (Stop Carcinogens, 2023).
- **Ajuste do desempenho de secagem conforme a necessidade:** na fábrica de tintas, o tecnólogo ajusta a quantidade e tipo de secante para calibrar o tempo de secagem desejado. Por exemplo, tinta de piso pode conter mais secante para secar rápido e liberar tráfego, enquanto um verniz artístico a óleo conterá menos para não criar rachaduras.
- **Compatibilidade e estabilidade na lata:** bons secantes vem de ácidos orgânicos de cadeia (ex: naftenatos, octoatos) que são solúveis na tinta e não causam turbidez ou sedimentação. O secante usado é um produto que, além de eficaz, é livre de precipitados e compatível com o sistema (por exemplo, secante a base de cobalto livre de ligoína aromática, para não dar problema de gelificação com resinas de alto teor aromático). Assim, sua função vai além de catalisar: ele deve não comprometer a estabilidade da tinta enlatada (Allnex, 2023).

Em uma formulação típica de tinta alquídica brilhante branca, seria comum usar um secante de cobalto (~0,05% do produto comercial), um secante de zircônio (como substituto moderno do chumbo, ~0,3%) e talvez um de cálcio (~0,2%). O cobalto assegura que em 4–6 horas a superfície esteja seca; o zircônio garante que em 24 horas o filme todo polimerizou, e o cálcio evita pele prematura na lata e auxilia a dispersão de outros secantes (Borchers, 2023). A sinergia entre eles proporciona secagem rápida e completa, com película dura e aderente. Sem os secantes, a tinta

poderia ficar mole ou pegajosa por dias, sujeita a colectar poeira, marcando facilmente inaceitável comercialmente.

Destaca-se que a dosagem de secantes é crítica: excesso de secante pode causar problemas como perda de brilho, enrugamento do filme (secagem superficial tão rápida que o solvente preso gera rugas), ou até escurecimento e menor durabilidade (Allnex, 2023). Portanto, o produto secante vem geralmente com indicação de dosagem óptima.

Hoje, há também preocupação ambiental com certos secantes, especialmente os de base cobalto (classificado como possivelmente carcinogénico) e chumbo (toxidade bem estabelecida). A tendência moderna é desenvolver secantes isentos de cobalto, por exemplo à base de manganês complexo, que desempenhem papel similar (Allnex, 2023). No entanto, muitos formuladores ainda confiam no cobalto devido à sua alta eficácia.

Concluindo, na produção de tintas os secantes são aditivos essenciais para garantir tempos de secagem adequados e desenvolvimento de dureza em tintas oxidativas. (Resibras, 2023).

### CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados na realização do estudo laboratorial, cujo foco foi a caracterização físico-química do líquido da casca da castanha de caju (CNSL) e a produção de tinta à base deste composto natural. A sistematização dos procedimentos visa garantir a reprodutibilidade dos resultados obtidos, respeitando os parâmetros de qualidade exigidos em estudos aplicados ao desenvolvimento de tintas sustentáveis.

#### 3.1. Materiais e equipamentos

A Tabela 1 apresenta os principais materiais e equipamentos utilizados no decorrer do trabalho laboratorial:

*Tabela 1. Principais materiais e equipamentos utilizados*

Nº	Material/Equipamento	Finalidade principal
1	Agitador magnético	Mistura homogênea dos componentes da tinta
2	Béquer	Aquecimento e mistura de líquidos
3	Picnómetro	Medição da densidade
4	Estufa	Secagem e esterilização de materiais
5	Bomba de sucção de ar	Compressão de ar para testes de pressão ou movimentação de fluido
6	Erlenmeyer	Mistura e titulação de soluções
7	Balança analítica	Medição de massas
8	Pipeta volumétrica	Transferência de líquidos
9	Viscosímetro de Redwood	Medição da viscosidade do CNSL

- ❖ **Agitador Magnético (anexo figura A3-1):** usado para misturar soluções, no caso os componentes da tinta, garantindo uma homogeneização adequada.
- ❖ **Béquer (anexo figura A3-3):** recipiente cilíndrico, geralmente de vidro ou plástico, usado para misturar, aquecer ou fazer a medição de líquidos.
- ❖ **Picnómetro (anexo figura A3-4):** utilizado para medir a densidade da tinta.

- ❖ **Estufa (anexo figura A3-9):** é um equipamento usado em ambientes de laboratório para realizar a secagem, esterilização, incubação, cultivo e outros processos que requerem controle preciso da temperatura.
- ❖ **Bomba de sucção de ar (anexo figura A3-2):** uma bomba de ar é um dispositivo com a função de comprimir o ar para inflar objectos.
- ❖ **Erlenmeyer (anexo figura A3-5):** é um frasco de vidro ou plástico. Sua utilização é vasta, podendo ser usado para misturas e soluções, mas a sua utilização mais comum é para a titulação, processo que determina a quantidade de uma determinada substância em uma solução.
- ❖ **Balança analítica (anexo figura A3-8):** é utilizada principalmente em determinação de massas em análises químicas.
- ❖ **Pipeta volumétrica (anexo figura A3-11):** é indicada quando é necessário medir e transferir um fluido de um recipiente para outro.

### 3.2. Extração do CNSL

Nesta etapa do estudo, procedeu-se à caracterização físico-química do Líquido da Casca da Castanha de Caju (CNSL), com o objectivo de avaliar as propriedades essenciais para sua aplicação como matéria-prima na produção de tintas sustentáveis.

A amostra utilizada foi adquirida através do RCN proveniente dos campos de produção das indústrias, CN CAJU e da Indo Africa, localizadas na província de Nampula.

Antes de ser submetido ao vapor, o RCN é desidratado à temperatura ambiente e protegido do sol. Em seguida, é calibrado por tamanho e cozido em vapor de água. O tempo de cozimento depende do teor de umidade do tamanho do RCN, da capacidade da panela de cozimento e da pressão e temperatura do vapor. Depois de secas as casacas da castanha são levadas para uma extração mecânica, onde as são prensadas em uma prensa hidráulica, a fim de liberar o líquido. Nesta unidade, o líquido é separado da torta por meio de filtros para posterior tratamento.

Na CN CAJU, o CNSL passa pelo processo de filtração e é armazenado, enquanto que na Indo Africa o processo de refinamento consiste na destilação atmosférica a 160°C - 200 °C. Nessa temperatura, a umidade e os componentes leves, como alguns ácidos,

são removidos. Em seguida, o CNSL é resfriado à temperatura ambiente para armazenamento.

### **3.3. Procedimentos**

#### **a) Limpeza do equipamento**

Inicialmente, realizou-se a preparação e limpeza dos materiais utilizados nos ensaios, de forma a garantir a precisão dos resultados. Os balões volumétricos foram lavados com água destilada, posteriormente com álcool etílico e secos numa estufa a 80°C por 30 minutos. Esse processo foi repetido para garantir a ausência de resíduos e interferências. Simultaneamente, o tanque do viscosímetro foi limpo com água quente, seguida de álcool, para remover qualquer resíduo de amostras anteriores.

#### **b) Ensaio de densidade**

A densidade foi determinada com base na razão entre massa e volume. Utilizou-se um balão volumétrico com capacidade de 50 mL, onde se pesou a massa do líquido após a estabilização térmica. A fórmula utilizada foi:

*Equação 1. Equação da densidade*

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Onde:

- $\rho$  é a densidade (Kg/m<sup>3</sup>);
- $m$  é a massa da amostra (Kg);
- $v$  é o volume da amostra (m<sup>3</sup>).

Foram feitas quatro repetições para cada amostra a fim de obter uma média representativa.

#### **c) Ensaio de gravidade específica**

A gravidade específica foi calculada com base na razão entre a densidade do óleo e a densidade da água à mesma temperatura:

*Equação 2. Equação da gravidade específica*

$$\delta = \frac{\rho_{\text{óleo}}}{\rho_{\text{água}}}$$

Onde:

- $\rho$  – Densidade (Kg/m<sup>3</sup>);
- $\delta$  – Gravidade específica;

**d) Ensaio de viscosidade**

A viscosidade cinemática foi determinada com auxílio do viscosímetro de Redwood. A metodologia consistiu no aquecimento do CNSL em banho-maria até atingir a temperatura de ensaio (43°C e 29°C), momento em que a válvula do viscosímetro foi aberta, iniciando-se a cronometragem do tempo necessário para o escoamento de 50 mL da amostra.

A equação utilizada foi:

*Equação 3. Equação da viscosidade para o viscosímetro de Redwood*

$$v = \left( A * t - \frac{B}{t} \right) * 10^{-6}$$

Onde:

- $v$  é a viscosidade (m<sup>2</sup>/s);
- A – Constante, 0.247
- B – Constante, 65
- t – Tempo (s).

**e) Ensaio de índice de acidez**

Para a determinação do Índice de Acidez (IA), pesaram-se 0,3 g da amostra em um erlenmeyer, adicionando-se 25 mL de solução éter-álcool (2:1), e agitou-se até a completa dissolução. Acrescentaram-se duas gotas de fenolftaleína como indicador e procedeu-se à titulação com solução de NaOH 0,1N até o aparecimento da coloração rosada.

*Equação 4. Equação do índice de acidez*

$$IA = \frac{V * N * P_m}{m * 10}$$

Onde:

- $IA$  –Índice de acidez (mg NaOH/ g da amostra)
- $V$  –volume gasto do titulante (mL)
- $N$  –normalidade da solução titulante (0.1N)
- $m$  –massa da amostra (g)
- $P_m$  –peso molecular do ácido oleico (para o caso consideramos 342.4718 g/mol do ácido anacárdico)

## CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os dados obtidos durante a caracterização físico-química do líquido da casca da castanha de caju (CNSL), bem como os resultados da formulação e análise de tintas produzidas com base nesse composto. As informações são organizadas por tipo de ensaio e tipo de amostra (refinada e bruta), permitindo observar os comportamentos distintos entre elas em termos de densidade, viscosidade, gravidade específica, índice de acidez, massa volúmica, tempo de secagem e viscosidade das tintas produzidas.

### 4.1. Caracterização físico-química do CNSL

As propriedades físicas fundamentais do CNSL densidade, gravidade específica e viscosidade foram determinadas experimentalmente utilizando um viscosímetro de Redwood e balões de volume fixo. Essas propriedades são essenciais para prever o desempenho do óleo em formulações de revestimento. A densidade da amostra bruta foi de  $999,367 \text{ kg/m}^3$ , enquanto a da amostra refinada foi de  $938,8375 \text{ kg/m}^3$ . A diferença entre os valores sugere que o processo de refinação promove a remoção de substâncias com maior massa molecular ou impurezas, tornando o óleo mais leve.

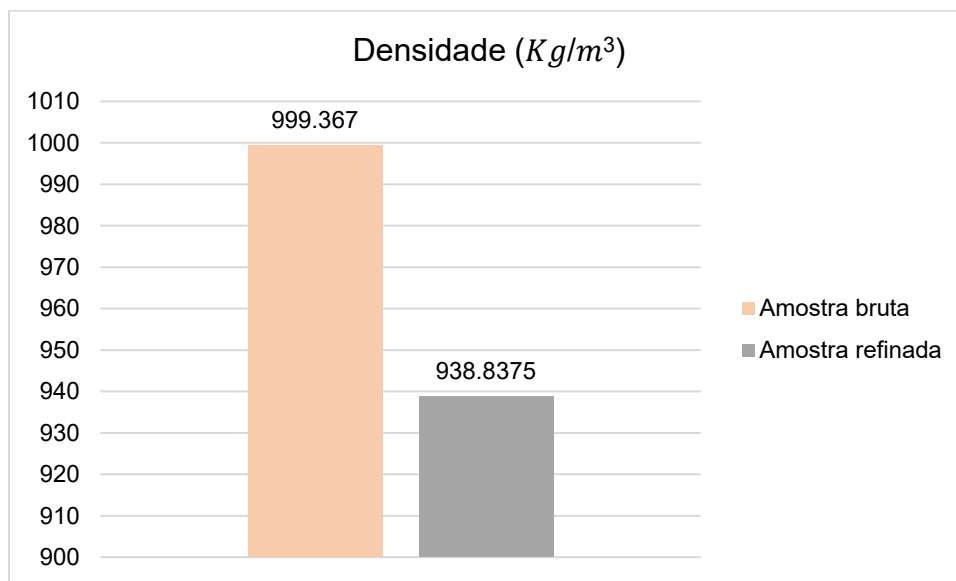


Figura 12. Densidade das amostras de CNSL refinado e bruto

No que se refere à gravidade específica, a amostra bruta apresentou um valor de 1,0072, enquanto a amostra refinada apresentou 0,9462. Valores próximos ou superiores a 1 indicam comportamento semelhante ao da água em termos de densidade, sendo que a amostra bruta é ligeiramente mais densa e, por isso, menos fluida.

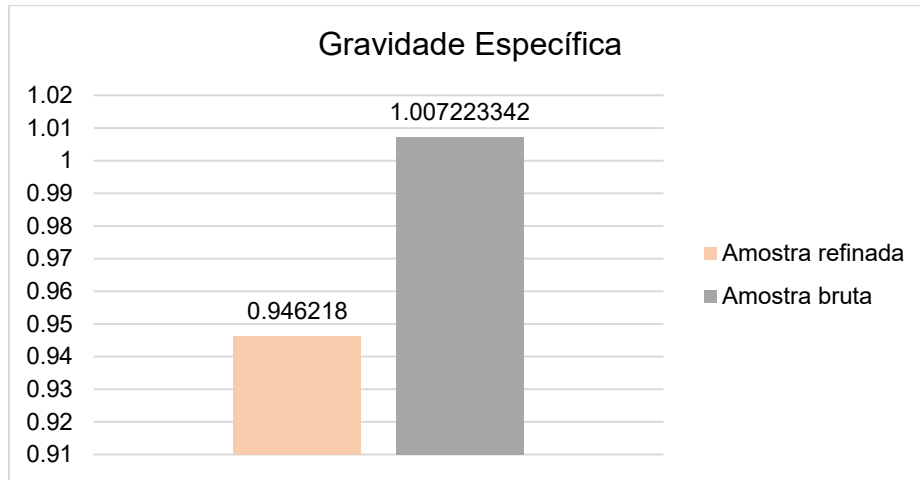


Figura 13. Gravidade específica das amostras de CNSL refinado e bruto

A viscosidade das amostras também apresentou variação significativa. O CNSL bruto mostrou uma viscosidade de 3,43144  $\text{cm}^2/\text{s}$ , enquanto o refinado apresentou 1,42162  $\text{cm}^2/\text{s}$ . Essa redução na viscosidade após o refino demonstra uma maior fluidez, característica desejável para formulações de tintas que exigem bom espalhamento.

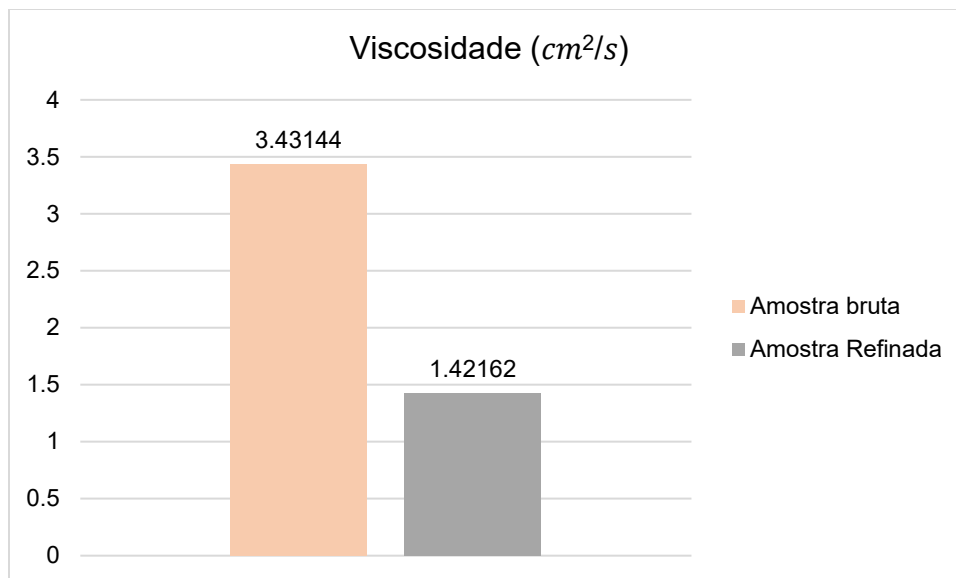


Figura 14. Viscosidade das amostras de CNSL refinado e bruto

O índice de acidez mede a quantidade de ácidos livres presentes no CNSL, os quais influenciam diretamente na estabilidade química do produto final. Foram obtidos valores de 71,0193 mg NaOH/g para a amostra bruta e 40,261 mg NaOH/g para a refinada. Esses dados indicam que o refinamento reduz de forma significativa a acidez, aumentando a estabilidade do óleo para usos industriais.

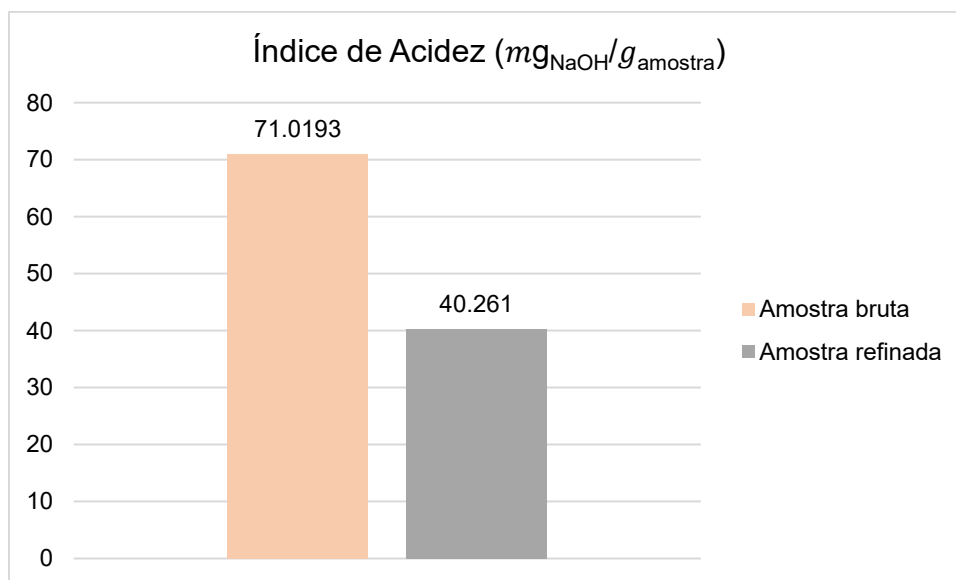


Figura 15. Índice de acidez do CNSL refinado e bruto

### **4.3. Formulação das tintas com CNSL**

A produção experimental das tintas foi realizada com base em procedimentos padronizados, iniciando-se pela preparação das matérias-primas, equipamentos e ambiente laboratorial. As matérias-primas incluíram resinas, pigmentos, solventes e aditivos como *Disperbyk*, *White Spirit*, metiletilcetoxima, xileno e secantes. As amostras de CNSL refinada e bruta foram utilizadas como componentes principais da resina.

Durante o processo de mistura, a temperatura foi mantida constante a 50 °C para promover a homogeneização. A sequência de introdução dos aditivos seguiu a lógica funcional de cada componente: primeiro a resina, seguida do *Disperbyk*, depois o *White Spirit* e, por fim, os aditivos de acabamento. Após 30 minutos de agitação controlada, foram obtidas as amostras das tintas.

A formulação da tinta foi baseada em ajustes feitos nos reagentes de modo a encontrar a formulação que melhor se adequa aos parâmetros testados.

A tinta foi composta por:

- 50% de resina;
- 0,5% de *Disperbyk*;
- 8% de white spirit;
- 30% de  $\text{CaCO}_3$ ;
- 1,5% de MEKO;
- 1% de xileno; e
- 9% de secante de cobalto.

### **4.4. Análise das Propriedades das Tintas**

Foram realizados três ensaios para cada tipo de amostra (refinada e bruta), nos quais se mediram a viscosidade (KU), a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) e o tempo de secagem (horas).

Tabela 2. Resultados Médios das Tintas Formuladas

Propriedade	CNSL Refinado	CNSL Bruto
Viscosidade (KU)	64	76
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,150	1,594
Tempo de Secagem (h)	143,3	123,3

As viscosidades obtidas para a tinta com CNSL refinado foram de 67, 55 e 70 KU, resultando numa média de 64 KU. Já as viscosidades das tintas com CNSL bruto foram 72, 75 e 81 KU, com média de 76 KU. A viscosidade é uma propriedade crítica, pois interfere diretamente na aplicação da tinta sobre o substrato. Viscosidades mais elevadas, como observado nas amostras com CNSL bruto, indicam maior espessura da tinta e, conseqüentemente, maior resistência ao escoamento. Esse comportamento é compatível com formulações que exigem maior cobertura e menor escorrimento em superfícies verticais.

Em relação à densidade, a tinta formulada com CNSL refinado apresentou valores individuais de 1,208; 1,133 e 1,110 g/cm<sup>3</sup>, resultando numa média de 1,150 g/cm<sup>3</sup>. Já a tinta com CNSL bruto demonstrou valores de 1,591; 1,524 e 1,668 g/cm<sup>3</sup>, com média de 1,594 g/cm<sup>3</sup>. A densidade influencia a carga por unidade de volume, a estabilidade da suspensão dos pigmentos e a aplicação da tinta com equipamentos industriais. A maior densidade da tinta com CNSL bruto pode estar associada à presença de impurezas ou compostos de maior massa molecular.

No que tange ao tempo de secagem, os ensaios com CNSL refinado registraram 120, 150 e 160 horas (média de 143,3 horas), enquanto os ensaios com CNSL bruto obtiveram 150, 100 e 120 horas (média de 123,3 horas). O tempo de secagem é uma variável importante no contexto da eficiência produtiva e usabilidade da tinta, especialmente em ambientes industriais e de aplicação contínua. A tinta formulada com CNSL refinado apresentou maior tempo médio de secagem, o que pode indicar menor reatividade com o oxigênio atmosférico ou maior presença de compostos voláteis de lenta evaporação. A tinta com CNSL bruto, por sua vez, apresentou tempo de secagem ligeiramente inferior, sugerindo maior rapidez de formação de película em condições semelhantes.

## **CAPÍTULO V: ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

### **5.1. Análise dos Resultados**

Os resultados a seguir apresentam valores obtidos a partir da análise das tintas produzidas, com as amostra bruta e refinada, incluindo a viscosidade, densidade e propriedades de secagem.

Os valores de viscosidade, densidade e tempo de secagem foram obtidos e comparados com os padrões de qualidade estabelecidos para a tinta produzida. Para a tinta produzida com a amostra de CNSL refinada a viscosidade média foi de 64 KU, a densidade média foi de 1,150 g/cm<sup>3</sup>, e o tempo de secagem médio foi de 143.3 horas. E para a tinta produzida com a amostra de CNSL bruto a viscosidade média foi de 76KU, a densidade média foi de 1,594 g/cm<sup>3</sup>, e o tempo de secagem médio foi de 123,3 horas.

#### **5.1.1. Viscosidade das tintas**

A viscosidade das tintas foi determinada utilizando o viscosímetro STORMER, um equipamento padrão na indústria de revestimentos, que permite medir a resistência da tinta ao escoamento de forma precisa. As medições foram conduzidas a temperatura ambiente controlada, com leitura direta em unidades Krebs (KU). Esse parâmetro é essencial para prever o comportamento da tinta durante a aplicação com rolos, pincéis ou pistolas.

A viscosidade da tinta foi medida em três variações em cada uma das duas amostras de CNSL (refinado e bruto) utilizando um viscosímetro STORMER. Os resultados foram analisados para verificar a consistência da tinta.

A viscosidade média da tinta de CNSL refinado, de 64 KU está fora da faixa aceitável para a aplicação desejada, indicando uma má consistência e dificuldade na aplicação. No entanto a viscosidade média da tinta de CNSL bruto de 76 KU encontra-se dentro do intervalo aceitável, o que indica boa consistência e aplicação ideal. Apesar da aplicação da tinta apresentar um aspecto aparentemente satisfatório, a baixa viscosidade pode resultar em problemas como baixa cobertura, escorrimento ou dificuldade de aderência em superfícies verticais.

O gráfico a seguir irá facilitar na observação dos resultados apresentados nas tabelas.

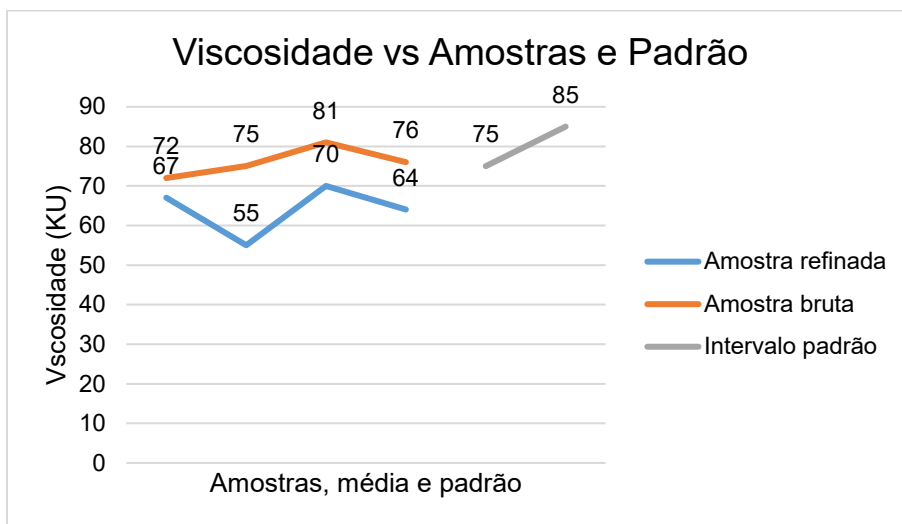


Figura 16. Gráfico da viscosidade em relação as amostra, média e padrão

Na figura 17, observa-se que a tinta formulada com CNSL refinado (AR) apresentou viscosidades de 67, 55 e 70 KU nos três ensaios, resultando em média 64 KU, enquanto a tinta com CNSL bruto (AB) registrou 72, 75 e 81 KU, com média 76 KU. Esses valores indicam um contraste marcante: a tinta com CNSL refinado possui viscosidade média abaixo da faixa considerada ideal (geralmente ~75–85 KU (apedroebraga.pt), ao passo que a tinta com CNSL bruto atingiu uma viscosidade média dentro do intervalo padrão aceitável (próxima de 75–85 KU). Conforme especificações técnicas de tintas convencionais, viscosidades em torno de 75–85 KU a 23 °C são típicas para assegurar boa consistência e aplicação. Portanto, a tinta AR mostrou-se demasiadamente fluida, enquanto a AB exibiu consistência adequada.

Essa diferença de viscosidade está directamente ligada à matéria-prima utilizada. No Capítulo IV verificou-se que o CNSL bruto original apresentava viscosidade cinemática significativamente maior que o refinado (3,43 cm<sup>2</sup>/s vs. 1,42 cm<sup>2</sup>/s a 29 °C). O processo de refino reduziu a viscosidade do óleo, o que explica a menor viscosidade da tinta AR. Em contrapartida, o CNSL bruto por conter compostos de maior massa molecular e possivelmente maior teor de componentes poliméricos – gerou uma tinta mais viscosa. Balgude e Sabnis (2014) salientam que o CNSL, sendo um óleo fenólico alcenilado,

pode ser usado na síntese de diversas resinas poliméricas. Entretanto, o comportamento reológico da tinta depende de sua formulação final: no caso, mesmo com adição de solventes e aditivos nivelantes, a tinta à base de CNSL refinado ficou abaixo da viscosidade ideal. Solventes são normalmente incorporados para ajustar a fluidez e evitar escorrimentos durante a aplicação; porém, no presente caso, a baixa viscosidade (64 KU) da tinta AR indica fluidez excessiva, podendo resultar em camada fina demais, gotejamento ou dificuldade de aderência em superfícies verticais. De fato, viscosidades abaixo do padrão tendem a prejudicar o poder de cobertura e facilitar escorrimentos, como apontado na prática de formulação de tintas.

### **5.1.2. Densidade das tintas**

A densidade das amostras foi verificada através do uso de picnômetro. Para isso, o picnômetro foi preenchido com a tinta até o nível de referência, limpo externamente para remover resíduos e pesado em balança analítica. Com esses dados, foi possível calcular a densidade em  $\text{g/cm}^3$ .

Os resultados foram analisados para garantir a precisão da densidade da tinta produzida. As densidades médias foram de  $1,150 \text{ g/cm}^3$  e  $1,594 \text{ g/cm}^3$  das amostras de tinta usando CNSL refinado e bruto respectivamente, são adequadas para garantir a cobertura e aderência da tinta nas superfícies aplicadas.

O gráfico a seguir irá facilitar na observação dos resultados apresentados na tabela.

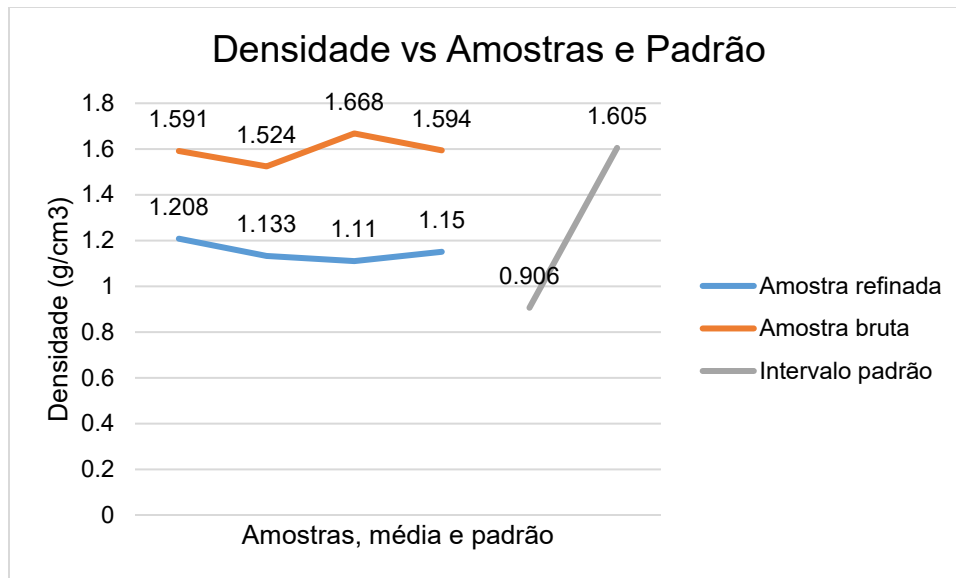


Figura 17. Densidade em relação as amostras, média e padrão

A densidade ou massa volúmica das tintas produzidas, mostrada na Figura 18, também apresentou diferenças notáveis entre as formulações AR e AB. A tinta com CNSL refinado exibiu valores de densidade de 1,208, 1,133 e 1,110 g/cm<sup>3</sup> nos ensaios, resultando em média 1,150 g/cm<sup>3</sup>. Já a tinta com CNSL bruto apresentou 1,591, 1,524 e 1,668 g/cm<sup>3</sup>, com média 1,594 g/cm<sup>3</sup>. Ambos os materiais estão dentro da faixa de densidade geralmente aceitável para tintas base solvente (aproximadamente 0,90–1,60 g/cm). No entanto, observa-se que a tinta formulada com CNSL bruto é consideravelmente mais densa (~ 1,59 g/cm<sup>3</sup>) do que a formulada com CNSL refinado (~1,15 g/cm<sup>3</sup>). Essa diferença de ~0,44 g/cm<sup>3</sup> é significativa e indica uma maior carga por volume na tinta feita com a AB.

A diferença de densidade entre as tintas reflete as alterações na composição do CNSL após refino. A remoção de ácidos e compostos pesados no CNSL refinado resultou em uma tinta menos densa, porém com propriedades de aplicação potencialmente mais fáceis (menor peso por litro pode facilitar o manuseio e aplicação com pistola, por exemplo). Já a tinta com CNSL bruto, mais densa, exige atenção para manter a homogeneidade (agitação adequada antes do uso) mas pode oferecer maior espessura de filme seco por demão. Ambos os valores médios (1,150 e 1,594 g/cm<sup>3</sup>) satisfazem os critérios de massa volúmica para tintas imobiliárias e industriais comuns, não havendo reprovação desse quesito em termos de normas. É válido mencionar que a

literatura de tintas sustentáveis destaca que propriedades como densidade e viscosidade dos formulados com óleos vegetais podem variar amplamente conforme o tipo de óleo e o grau de processamento, requerendo otimização caso a caso para se adequar aos padrões comerciais (Akinterinwa & Atiku, 2021).

### 5.2.3. Tempo de secagem das tintas

Realizou-se a aplicação das tintas formuladas sobre cartões padrão (carta de cor) para simular as condições reais de uso. As amostras foram submetidas à estufa com temperatura controlada de 40 °C por um período de 4 a 6 horas. Esse procedimento visou observar o comportamento da secagem inicial da película, formação de imperfeições superficiais, presença de partículas mal dispersas ou falhas de aderência e opacidade.

Durante esse processo, foram feitas anotações sobre eventuais inconsistências no acabamento, como bolhas, brilho irregular, sedimentação de pigmentos ou formação de pele.

O tempo de secagem revelou-se o ponto mais crítico dos resultados, conforme ilustrado na Figura 19:

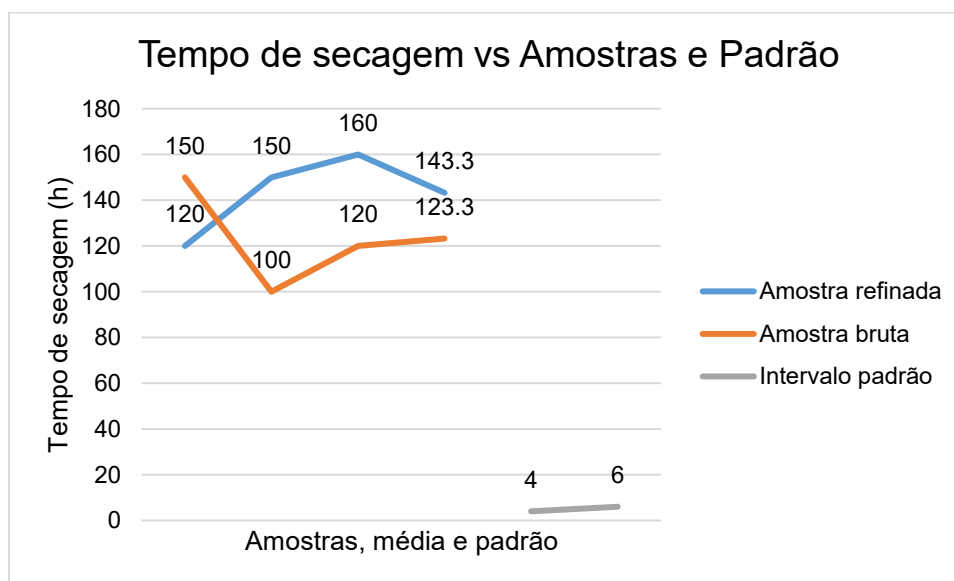


Figura 18. Tempo de secagem em relação as amostra, média e padrão

As tintas formuladas apresentaram tempos de secagem muito superiores aos valores típicos da indústria. Em média, a tinta com CNSL refinado (AR) levou 143,3 horas

(aproximadamente 6 dias) para secar, enquanto a tinta com CNSL bruto secou em 123,3 horas (pouco mais de 5 dias).

Em qualquer dos casos, trata-se de um desempenho muito aquém do esperado a título de comparação, tintas comerciais convencionais (por exemplo, esmaltes sintéticos ou tintas látex) costumam apresentar secagem ao toque em 1–2 horas e possibilidade de repintura após 4–6 horas. Portanto, valores da ordem de 5–6 dias indicam que as formulações actuais não atendem aos requisitos de uso prático (Carvalho, & Mendes, 2022).

Vários fatores contribuem para o tempo de secagem prolongado observado. Em primeiro lugar, as formulações desenvolvidas baseiam-se em óleos vegetais polinsaturados (derivados do CNSL) como ligante principal. Óleos secativos demoram a curar porque seu mecanismo de secagem envolve reações de autooxidação e polimerização das ligações duplas na presença de oxigênio atmosférico um processo relativamente lento à temperatura ambiente (Carvalho, & Mendes, 2022).

De facto, estudos ressaltam que óleos insaturados formam filmes reticulados ao reagirem com oxigênio (Silva & Moreira. 2021), mas a velocidade dessa reação pode ser baixa se não houver catalisadores (secantes) ou insumos modificados para acelerar o processo. No nosso estudo, apesar da adição de secantes comerciais, a secagem das tintas ficou extremamente lenta, sugerindo que a reatividade intrínseca do ligante ainda era insuficiente.

A tinta produzida com CNSL bruto secou um pouco mais rápido que aquela com CNSL refinado (diferença de ~20 horas, aproximadamente 14% menor). Embora ambos os tempos sejam extremamente altos, essa disparidade sugere que a composição química do CNSL influencia a cinética de secagem. Conforme visto anteriormente, o CNSL bruto possuía um índice de acidez muito maior que o refinado (71,0 vs 40,3 mg KOH/g), indicando maior presença de ácidos graxos livres (como o ácido anacárdico) na amostra bruta.

Esses ácidos podem actuar formando complexos ou sais com os catalisadores secantes (por exemplo, formando carboxilatos metálicos de cobalto ou manganês in situ), potencialmente facilitando a polimerização oxidativa do filme de tinta. Assim,

pode-se hipotetizar que o conteúdo ácido do CNSL bruto tenha contribuído para uma secagem ligeiramente mais ágil em comparação ao CNSL refinado, no qual boa parte dos ácidos foi removida durante o refino. Por outro lado, o CNSL refinado, sendo constituído majoritariamente por cardanol (fenol alcenilado) menos polar, pode apresentar menor taxa de reação com oxigênio ou menor sites activos para iniciação da cura, resultando em secagem mais lenta.

## CAPÍTULO VI- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é reservado a apresentação das considerações finais, com foco nas conclusões obtidas e as recomendações para futuras acções na temática apresentada pela pesquisa.

### 6.1. Conclusão

O estudo desenvolvido na presente monografia propôs a avaliação do potencial do líquido da casca da castanha de caju (CNSL) como matéria-prima alternativa para a formulação de tintas sustentáveis de base oleosa, por meio da caracterização das suas propriedades físico-químicas e do seu desempenho como revestimento com menor impacto ambiental. A pesquisa teve como foco a viabilidade do aproveitamento do CNSL, tanto em sua forma bruta quanto refinada, como substituto parcial ou total de resinas sintéticas comumente utilizadas na indústria de tintas.

Em relação ao primeiro objectivo específico, a composição química do CNSL foi caracterizada com base em parâmetros como densidade, viscosidade, gravidade específica e índice de acidez. A densidade média da amostra bruta foi de  $999,367 \text{Kg/m}^3$ , e da amostra refinada foi de  $938,836 \text{Kg/m}^3$ , a viscosidade média da amostra bruta foi de  $3,431 \text{cm}^2/\text{s}$ , e da amostra refinada foi de  $1,422 \text{cm}^2/\text{s}$ , a gravidade específica média apresentou valores de 1,0072 para a amostra bruta e 0,9462 para a amostra refinada, os valores de índice de acidez foram de  $71,019 \text{mg}_{\text{NaOH}}/\text{g}$  para a amostra bruta e  $40,261 \text{mg}_{\text{NaOH}}/\text{g}$  para a amostra refinada. Observou-se que a versão refinada do CNSL apresentou melhor estabilidade, menor acidez e maior fluidez, características desejáveis para a formulação de tintas. Esses dados evidenciam o papel crucial do processo de refinação na melhoria do desempenho técnico do CNSL e sua adequação aos padrões exigidos pela indústria de revestimentos.

No segundo objectivo, referente às propriedades físico-químicas das tintas formuladas, os resultados mostraram diferenças significativas entre as amostras com CNSL refinado e bruto. A tinta com CNSL bruto apresentou maior viscosidade (76KU) e densidade ( $1,594 \text{g/cm}^3$ ), porém um tempo de secagem excessivamente longo (123,3h). Já a tinta com CNSL refinado teve melhor fluidez (densidade de  $1,150 \text{g/cm}^3$ ) e uma viscosidade de 64KU, que está ligeiramente abaixo do limite aceitável, mas também

apresentou um tempo de secagem elevado de 143,3h. Esses resultados indicam que, embora funcional, o CNSL requer ajustes na formulação (como a introdução de secantes ou resinas modificadas) para atingir um desempenho comparável às tintas comerciais. Os resultados das propriedades da tinta indicam que a formulação utilizada e os procedimentos seguidos resultaram em uma tinta com características consistentes e dentro dos padrões esperados.

Quanto ao terceiro objectivo, foram identificadas vantagens e limitações técnicas no uso do CNSL. As principais vantagens destacam sua origem renovável, o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, e sua compatibilidade com a produção de tintas de base oleosa.

De forma geral, conclui-se que o CNSL possui potencial significativo como alternativa ecológica e tecnicamente viável na formulação de tintas oleosas sustentáveis. Os dados obtidos fornecem uma base sólida para futuras pesquisas voltadas ao aprimoramento do processo de refino, à otimização da formulação das tintas e à avaliação do desempenho em larga escala.

## **6.2. Recomendações**

Com base nos resultados obtidos ao longo da presente investigação, recomenda-se, em primeiro lugar, que futuros estudos aprofundem os processos de refinação e modificação química do CNSL, com o intuito de reduzir ainda mais a acidez e ajustar a viscosidade para níveis ideais na formulação de tintas.

Em segundo lugar, recomenda-se a realização de ensaios adicionais com aditivos catalisadores e secantes diferentes, que auxiliem na redução do tempo de secagem das tintas produzidas.

Adicionalmente, recomenda-se que os próximos estudos incluam a avaliação do desempenho das tintas com CNSL em ambientes externos e em diferentes tipos de substratos, de forma a verificar a resistência ao intemperismo, à abrasão e à durabilidade da película formada.

Por fim, recomenda-se o desenvolvimento de estudos de viabilidade técnica e econômica que considerem toda a cadeia produtiva, desde a coleta da matéria-prima até a produção e comercialização da tinta.

### **6.3.Constrangimentos**

Durante a realização da presente investigação, alguns constrangimentos limitaram a amplitude e profundidade dos resultados alcançados:

- O primeiro constrangimento esteve relacionado à dificuldade de obtenção de CNSL com origem controlada e documentação técnica sobre o processo de extração utilizado. Essa limitação dificultou a padronização inicial das amostras, influenciando diretamente a comparação precisa entre o material bruto e o refinado, e comprometendo o rigor da caracterização química;
- O segundo constrangimento referiu-se à indisponibilidade de reagentes e equipamentos laboratoriais mais avançados e específicos para análise térmica, espectrofotométrica e cromatográfica, os quais poderiam permitir uma avaliação mais detalhada da composição molecular e do comportamento reológico do CNSL. A ausência desses recursos reduziu a possibilidade de aprofundar a compreensão sobre as interações químicas entre o óleo e os demais componentes da tinta;

Esses constrangimentos, no entanto, não invalidam os resultados obtidos, mas indicam a necessidade de continuidade e expansão da pesquisa em contextos mais amplos e controlados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografia consultada

- ACAMAZ. Associação dos Comerciantes e Agricultores de Moçambique. M
- Akinterinwa, A., & Atiku, A. (2021). Green coatings: Advances in sustainable raw materials for paints. *Journal of Coatings Technology and Research*, 18(3), 455–469.
- Borchardt, M., & Nava, A. (2017). Gestão sustentável na cadeia de suprimentos: Uma abordagem baseada na química verde. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, 4(1), 55–70.
- eCycle. (2020). O que é química verde e qual a sua importância? <https://www.ecycle.com.br/>
- Gonçalves, A. M., Moreira, M. T., & Silva, V. M. (2016). Avaliação ambiental de produtos com base em CNSL. *Química Nova*, 39(7), 798–804.
- Gomes, R. F., & Andrade, J. T. (2021). Avaliação de propriedades reológicas em revestimentos ecológicos com óleos vegetais. *Ciência & Engenharia*, 30(1), 93–105.
- Machado, J. P., & Costa, H. R. (2020). Comportamento físico de tintas à base de solvente e água: Estudo comparativo. *Polímeros em Revista*, 18(1), 54–65.
- Oliveira, D. A., & Ferreira, S. C. (2019). Influência da viscosidade na qualidade de filmes de tinta arquitetônica. *Tecnologia em Pauta*, 17(2), 29–36.
- Resibras. (2023). Linha de produtos sustentáveis com base em líquido da casca de caju. <https://www.resibras.com/>

## Bibliografia referênciada

Álvaro, S. (2024). Processos industriais com matérias-primas renováveis [Tese de mestrado, Universidade de Aveiro].

Babatunde, A., Bamidele, F., & Olalekan, T. (2023). Cashew nut shell liquid as an alternative feedstock in green coatings. *Journal of Sustainable Materials*, 15(2), 112–125.

Balgude, D., & Sabnis, A. (2014). Development of sustainable coatings using CNSL: A review. *Progress in Organic Coatings*, 77(1), 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.10.005>

Blau, W. (2001). Optical and electrical properties of CNSL-based polymers. *Journal of Materials Science*, 36(11), 2637–2645.

Cardolite. (2019). Cashew nutshell liquid (CNSL) technology. <https://www.cardolite.com/>

Cardolite. (2020). Cardolite product line and technical brochure. <https://www.cardolite.com/products/>

CashewChem. (2021). CNSL applications in the paint industry. *CashewChem Technical Bulletin*, 8(3), 1–8.

Carvalho, M. L., & Mendes, P. V. (2022). Análise do desempenho físico-químico de tintas com base vegetal. *Revista Brasileira de Química Aplicada*, 14(2), 112–125.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAOSTAT statistical database*. Rome: FAO. <https://www.fao.org/faostat>

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008

Gite, V. V., Chaudhari, A. S., Hundiwale, D. G., & Mahulikar, P. P. (2010). CNSL-based polyurethanes as eco-friendly coatings. *Progress in Organic Coatings*, 69(1), 1–6.

GlobalGrowthInsights. (2023). Cashew nut shell liquid market analysis report. <https://www.globalgrowthinsights.com/>

IAM; INCAJU. Relatório anual do Instituto de Amêndoas de Moçambique / Instituto Nacional do Caju. Maputo, 2024

Ikeda, R., Sasaki, M., & Nabetani, H. (2000). Extraction and utilization of cardanol from cashew nutshell liquid. *Bioresource Technology*, 72(2), 175–179.

Infopédia. (2023). Definição de solvente. Porto Editora. <https://www.infopedia.pt/>

Kyei, S. K., Amankwah, E. O., & Sarpong, R. (2023). Sustainable development of coatings from agro-industrial residues: Drying behaviour and film formation. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2057–2065.

Lusa. (2025). Produção de caju em Moçambique aumenta 20% em 2024. Agência Lusa. <https://www.lusa.pt/>

Nambiar, R. B., Nair, C. P. R., & Joseph, R. (2017). Coating applications of CNSL derivatives: A review. *Surface Coatings International*, 90(3), 120–130.

Nandi, S., Ghosh, A., & Majumdar, G. (2017). Preparation of CNSL-based epoxy resins. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(2), 120–129.

Nicholson, D. G. (1995). *Introduction to polymer chemistry*. Harper Collins Academic.

Petrovič, Ž. S., Zhang, W., & Milić, J. (2010). Renewable-resource polyurethane coatings from CNSL. *Journal of Coatings Technology and Research*, 7(4), 529–536.

Química Explica. (2016). O que são tintas e como são produzidas. <https://www.quimicaexplica.com/>

Ramesh, C., Ramachandran, S., & Rajendran, S. (2018). CNSL-based water-resistant coatings: A study. *Paintindia*, 68(5), 51–56.

Rinaldi, M. C., Faria, R. A., & Souza, M. E. (2020). Tintas ecológicas: Soluções sustentáveis para o setor da construção civil. *Revista Engenharia Sustentável*, 8(2), 33–47.

Sabnis, R. W. *Handbook of Acid-Base Indicators (pH Indicators)*. 2. ed., enlarged and updated. Londres: Taylor & Francis Ltd, 2025

Silva, J. E., Santos, M. C., & Moreira, A. L. (2021). Viscosidade em tintas ecológicas formuladas com óleos vegetais: Análise experimental. *Revista de Materiais Renováveis*, 8(1), 78–87.

Soares, Clarissa G.; carracho, Helena G.; braun, Ana Paula; costa, Nilza P.; Veeck, Elaine B. (2021). Densidade óptica e composição química de resinas compostas. *Brazilian Dental Science*, v. 10 n. 4. <https://bds.ict.unesp.br/index.php/cob/article/view/296>.

Trendsnafrica. (2025). Mercado do caju em Moçambique em 2024. <https://www.trendsnafrica.com/>

Tullo, A. H. (2008). Cashew nut shell liquid: A natural feedstock. *Chemical & Engineering News*, 86(36), 27–30.

Vega, D. R., Silva, J. R., & Almeida, T. M. (2025). Produção de tintas sustentáveis com base em solventes naturais. *Revista Brasileira de Engenharia Química Verde*, 3(1), 45–60.

## ANEXOS

## I. Anexo I: FORMULAÇÃO

%	PESAGEM/HOMOGENIZAÇÃO PESAR PARA A PAINELA E HOMOGENIZAR	QUANT. US
50	RESINA.....	150
0.5	DISPERBYK.....	1.5
<b>JUNTAR LENTAMENTE E DISPERSAR 10 MIN</b>		
8	WHITE SPIRIT.....	24
<b>JUNTAR LENTAMENTE COM AGITAÇÃO A VERIFICAR GRAU DISPERSÃO 30MIN A TEMPERATURA DE 50°C</b>		
30	CARGA.....	90
<b>Juntar lentamente com agitação Homogeneizar por 5min A uma temperatura de 50°C</b>		
0.5	METILETILCETOXIMA/MEKO.....	1.5
<b>HOMOGENEIZAR LENTAMENTE 10MIN A UMA TEMPERATURA DE 50°C</b>		
1	XILENO.....	3
9	SECANTE DE COBALTO.....	27

**Tabela A1.1. FORMULAÇÃO  
ARTIGOS A PRODUZIR**

## II. Anexo II: Exemplo de cálculos da quantidade a partir das percentagens

$$\text{Quantidade total} = \frac{\text{QUANTIDADE DESEJADA}}{\% \text{ estimada}}$$

$$\text{Quantidade desejada} = \text{quantidade total} * \% \text{ estimada}$$

$$\text{Quantidade desejada} = 300 * 5\% = 150$$

Óleo não refinado, 40°C								
massa do balão (g)	temperatura do óleo (°C)	tempo de colecta (s)	massa de colecta (g)	massa do óleo (g)	massa do óleo (Kg)	densidade (g/m <sup>3</sup> )	gravidade específica	viscosidade (m <sup>2</sup> /s)
33,4364	43	611,45	83,4709	50,0345	0,050035	1,00069	0,001008557	0,000150922
35,1548	44	599,66	84,9803	49,8255	0,049826	0,99651	0,001004344	0,000148008
33,9772	43	633,37	83,8167	49,8395	0,04984	0,99679	0,001004626	0,00015634
33,6304	42	678,72	83,5458	49,9154	0,049915	0,998308	0,001006156	0,000167548
<b>34,0497</b>	<b>43</b>	<b>630,8</b>	<b>83,953425</b>	<b>49,90373</b>	<b>0,049904</b>	<b>0,9980745</b>	<b>0,001005921</b>	<b>0,000155704</b>

### Óleo refinado, 40°C

massa do balão (g)	temperatura do óleo (°C)	tempo de colecta (s)	massa de colecta (g)	massa do óleo (g)	massa do óleo (Kg)	densidade (g/m <sup>3</sup> )	gravidade específica	viscosidade (m <sup>2</sup> /s)
34,1267	41	287,55	80,7541	46,6274	0,046627	0,932548	0,000939879	7,07988E-05
33,4759	41	292,94	81,2539	47,778	0,047778	0,95556	0,000963072	7,21343E-05
35,2339	40	307,17	82,0863	46,8524	0,046852	0,937048	0,000944414	7,56594E-05
33,7765	40	324,99	80,2285	46,452	0,046452	0,92904	0,000936343	8,00725E-05
<b>34,15325</b>	<b>40,5</b>	<b>303,1625</b>	<b>81,0807</b>	<b>46,92745</b>	<b>0,046927</b>	<b>0,938549</b>	<b>0,000945927</b>	<b>7,46662E-05</b>

### Óleo não refinado, 29°C

massa do balão (g)	temperatura do óleo (°C)	tempo de colecta (s)	massa de colecta (g)	massa do óleo (g)	massa do óleo (Kg)	densidade (g/m <sup>3</sup> )	gravidade específica	viscosidade (m <sup>2</sup> /s)
33,6775	29	1229,98	83,6182	49,9407	0,049941	0,998814	0,001006666	0,000303752
33,5176	29	1344,84	83,4834	49,9658	0,049966	0,999316	0,001007172	0,000332127
35,2178	28	1444,89	85,2273	50,0095	0,05001	1,00019	0,001008053	0,000356843
34,0935	27	1538,04	84,0509	49,9574	0,049957	0,999148	0,001007003	0,000379854
<b>34,1266</b>	<b>28,25</b>	<b>1389,4375</b>	<b>84,09495</b>	<b>49,96835</b>	<b>0,049968</b>	<b>0,999367</b>	<b>0,001007223</b>	<b>0,000343144</b>

### Óleo refinado, 29°C

massa do balão (g)	temperatura do óleo (°C)	tempo de colecta (s)	massa de colecta (g)	massa do óleo (g)	massa do óleo (Kg)	densidade (g/m <sup>3</sup> )	gravidade específica	viscosidade (m <sup>2</sup> /s)
35,1953	29	565,63	82,2483	47,053	0,047053	0,94106	0,000948458	0,000139596
33,6447	28	577,55	80,5982	46,9535	0,046954	0,93907	0,000946452	0,000142542
33,5301	29	570,95	80,3789	46,8488	0,046849	0,936976	0,000944342	0,000140911
34,0419	29	589,92	80,9541	46,9122	0,046912	0,938244	0,00094562	0,0001456
<b>34,103</b>	<b>28,75</b>	<b>576,0125</b>	<b>81,044875</b>	<b>46,94188</b>	<b>0,046942</b>	<b>0,9388375</b>	<b>0,000946218</b>	<b>0,000142162</b>

### III. Anexo III: Equipamentos usados Durante as experiências



Figura A3-1: dispersores magnéticos



Figura A3-2: bomba de sucção



Figura A3-3: béquer



Figura A3-4: picnómetro

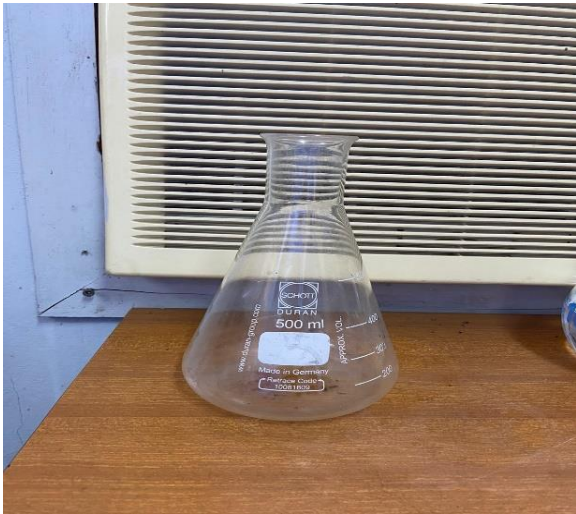


Figura A3-5: Erlenmeyer



Figura A3-6: Béquer



Figura A3-7: Termómetro



Figura A3-8: Balança analítica



Figura A3-9: Estufa

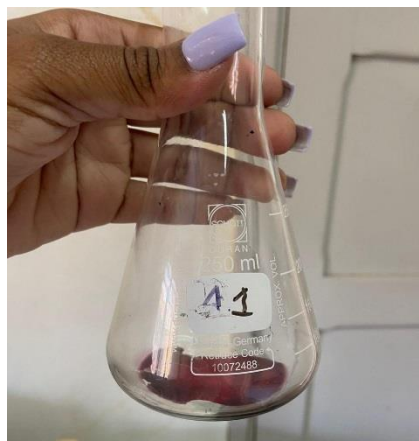


Figura A3-10: Amostra de CNSL refinado

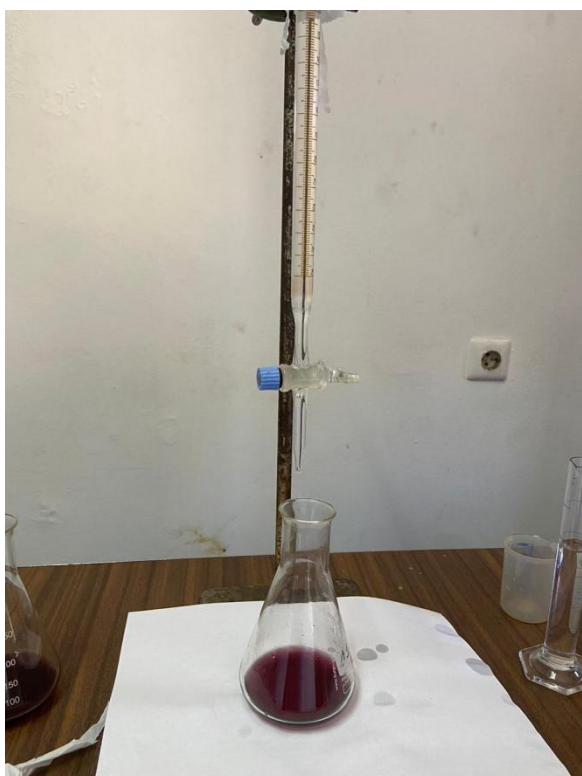


Figura A3-11: Titulação para medição do IA



Figura A3- 12: Viscosímetro de Redwood



Figura A3- 13: Amostra de tinta finalizada

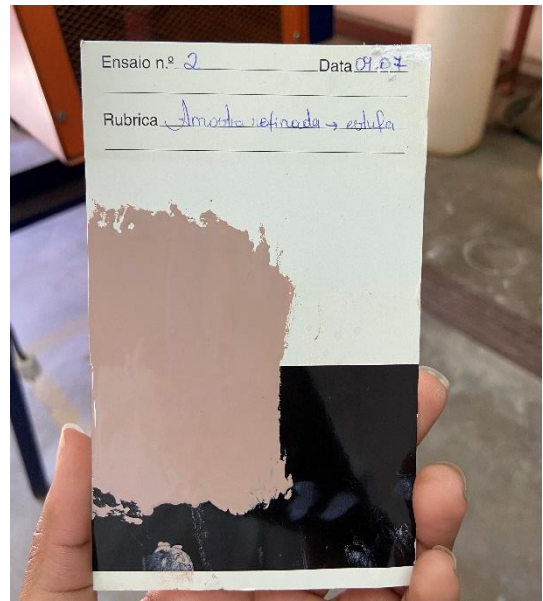


Figura A3- 14: Carta para Análise da tinta



Figura A3- 15: Processo de produção da tinta

