



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA



# Controle da Dispersão de Pigmentos através da Técnica de Transmissão da Luz

*Autor: Ariel Brandt Lopez*

*Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina Tessaro*

Porto Alegre, março de 2023.



Autor: Ariel Brandt Lopez

# Controle da Dispersão de Pigmentos Através da Técnica de Transmissão da Luz

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química*

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina Tessaro

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nilson Romeu Marcílio, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr<sup>a</sup>. Thais Martins Neves, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

2023

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou eternamente grato à minha família por investir na minha educação de maneira que nunca me faltasse nada que estivesse ao nosso alcance. Obrigado por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todas as situações, amo vocês.

Aos meus amigos e todas as pessoas que de alguma maneira eu pude ter o contato ao longo de toda a jornada. Levarei para o resto da vida diversas amizades que me ajudaram a crescer como homem e que tornaram momentos difíceis mais leves.

A todas pessoas que pude conhecer e conviver de maneira muito próxima ao longo dos anos e aprender diariamente de forma a me tornar a pessoa que sou hoje.

Às incontáveis pessoas que sempre me ensinaram a nunca desistir dos nossos sonhos, lutar e jamais desistir.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul que me desafiou em diversos aspectos ao longo da graduação, tirando-me da zona de conforto, pois como aluno do interior tive a experiência de dividir apartamento com amigos. Consigo me lembrar do Ariel com 17 anos realizando sua matrícula, sem ter muita certeza de que era isso que queria da minha vida e hoje enxergo de uma forma completamente diferente – tenho a absoluta certeza de que fiz a escolha certa. Agradeço meus colegas e técnicos durante a monitoria de química ainda no segundo semestre e a bolsa de iniciação científica realizada no Laboratório de Reatores onde tive minhas primeiras experiências seja ensinando outras pessoas, realizando pesquisas e publicando artigos. Extremamente grato por ter o privilégio de integrar um grupo de pesquisa vinculado à Petróleo Brasileiro S.A. e por poder trabalhar com pessoas vinculadas ao Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais e Processos (LADENMP), Laboratório (LASEM), Laboratório de Processamentos de Resíduos (LPR) e ao corpo técnico da empresa que contribuíram muito para meu início de carreira profissional. Por final, faço um agradecimento à universidade por me propiciar uma das melhores educções do Brasil e por experiências ímpares às quais levarei para o resto da vida.

À empresa RMA TECH e todas as pessoas incríveis que conheci durante meu período de estágio. Pude colocar em prática todo o conhecimento adquirido ao longo dos anos e ter a certeza de que fiz a escolha certa para a minha vida profissional.

À minha orientadora Isabel por toda a paciência dedicada a este trabalho, conselhos e pela excelente atuação como professora do departamento.

Aos membros da banca pela disponibilidade, tempo e dedicação para que meu trabalho de conclusão de curso seja avaliado.

## RESUMO

No decorrer dos últimos anos o setor de tintas como um todo, enfrenta cada vez mais uma forte competição entre os fabricantes, demandando maior qualidade, soluções mais sustentáveis, além da redução de custos e, assim, uma melhora na cadeia produtiva. Atualmente, um dos maiores problemas consiste no controle de propriedades como a Força de Tingimento, que diz respeito ao quanto um meio pode tingir outro, em razão da baixa sensibilidade de testes convencionais que mensuram essa propriedade que, muitas vezes, acabam por quase não discriminar e assim não permitir a devida análise pelo fabricante da eficiência do processo. A avaliação da Força de Tingimento é fundamental em dispersões de pigmentos para que seja possível determinar quais matérias primas entregam melhores resultados e também para reduzir a variação final nas cores de tintas que atualmente continua sendo um problema crônico dos fabricantes. O presente trabalho utiliza a técnica inédita de transmissão para o controle de dispersões de pigmentos e faz uma comparação com os resultados obtidos via controle convencional por reflexão. O equipamento utilizado nas análises é denominado *Transmicell* e foi desenvolvido especificamente para esse fim pela empresa RMA TECH. Quatro dispersões de pigmentos com amostras de diferentes etapas do processo são avaliadas sendo todas provindas do setor automotivo. Os ensaios por reflexão utilizaram como base as equações colorimétricas desenvolvidas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIELAB) e um espectrofotômetro adequado para as medições. Os resultados finais demonstram a alta sensibilidade da técnica de transmissão frente à técnica de reflexão permitindo assim um melhor controle da Força de Tingimento e representando um grande ganho técnico para a cadeia produtiva como um todo.

**Palavras-chave:** *Dispersão de pigmentos, Força de tingimento, Transmissão da luz, Tintas automotivas, Controle da dispersão de pigmentos, Reflexão.*

## ABSTRACT

Over the last few years, the paint sector, as a whole, has been facing increasingly intense competition among manufacturers, demanding higher quality, more sustainable solutions, in addition to cost reduction and an improvement in the production chain. Currently, one of the biggest problems is the control of properties such as the Tinting Strength, which refers to intensity one medium can dye another, due to the low sensitivity of conventional tests that measure this property, which often end up almost not discriminating and thus not allowing the correct analysis by the manufacturer of the efficiency of the process. The evaluation of the Tinting Strength is fundamental in pigment dispersions so that it is possible to determine which raw materials deliver the best results when used and to reduce the final variation in the colors of paints, which currently remains a chronic problem for manufacturers. The present work uses the new technique of transmission to control pigment dispersions and makes a comparison with the results obtained by conventional control by reflection. The equipment used in the analysis is called *Transmicell* and was developed specifically for this purpose by the company RMA Industrial Technology. Four pigment dispersions with samples from different process stages are evaluated, all of which come from the automotive sector (original equipment manufacturer, OEM). The reflection tests were based on the colorimetric equations developed by the International Commission of Illumination (CIELAB) and a suitable spectrophotometer for the measurements. The results demonstrate the high sensitivity of the transmission technique compared to the reflection technique, thus allowing better control of the Tinting Strength and representing a great technical gain for the production chain as a whole.

**Keywords:** *Pigment dispersions, Tinting strength, Transmission of light, automotive coatings, Pigment dispersions control, Reflection.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Representatividade de cada segmento no mercado de tintas brasileiro. ....	4
<b>Figura 2.2:</b> Composição básica da tinta.....	5
<b>Figura 2.3:</b> Esquema básico do processo de produção de uma tinta. ....	7
<b>Figura 2.4:</b> Variação da Força de Tingimento em três níveis nas cores finais. ....	7
<b>Figura 2.5:</b> Comportamento dual da luz – Onda e partícula.....	9
<b>Figura 2.6:</b> Espectro da luz visível. ....	9
<b>Figura 2.7:</b> Materiais transparentes, translúcidos e opacos.....	10
<b>Figura 2.8:</b> Dependência do tamanho da partícula com a interação da luz em diferentes comprimentos de onda. ....	11
<b>Figura 2.9:</b> Diagrama esférico do espaço da cor $L^*a^*b$ . ....	12
<b>Figura 3.1:</b> Amostras da dispersão de pigmento marrom. ....	14
<b>Figura 3.2:</b> Amostras da dispersão de pigmento preta.....	15
<b>Figura 3.3:</b> Amostras da dispersão de pigmento Azul Ftalo.....	15
<b>Figura 3.4:</b> Amostras da dispersão de pigmento Azul Ecod.....	16
<b>Figura 3.5:</b> Equipamento <i>Transmicell</i> utilizado nas análises.....	17
<b>Figura 3.6:</b> Esquema simplificado da leitura por Transmissão no equipamento Transmicell para ajuste de colorantes. ....	18
<b>Figura 3.7:</b> Exemplo de uma curva de transmissão. ....	19
<b>Figura 3.8:</b> Supervisório de controle de processo da <i>Transmicell</i> . ....	20
<b>Figura 3.9:</b> Espectrofotômetro Datacolor Check 3.....	21
<b>Figura 4.1:</b> Espectros de transmissão para as três amostras de Azul Ftalo. ....	23
<b>Figura 4.2:</b> Espectros de reflexão para as três amostras de Azul Ftalo. ....	24
<b>Figura 4.3:</b> Extensão em cartela das três amostras de Azul Ftalo.....	25
<b>Figura 4.4:</b> Espectros de transmissão para as três amostras de Preto. ....	26
<b>Figura 4.5:</b> Espectros de transmissão para as três amostras de Preto. ....	27
<b>Figura 4.6:</b> Extensão em cartela das três amostras de Preto.....	28
<b>Figura 4.8:</b> Espectros de transmissão para as três amostras de Óxido de Ferro.....	29
<b>Figura 4.9:</b> Espectros de reflexão para as três amostras de Óxido de Ferro. ....	30
<b>Figura 4.10:</b> Extensão em cartela das três amostras do Óxido de Ferro. ....	31
<b>Figura 4.11:</b> Espectros de transmissão para as três amostras de Azul Ecod. ....	32
<b>Figura 4.12:</b> Espectros de reflexão para as três amostras de Azul Ecod.....	33
<b>Figura 4.13:</b> Extensão em cartela das três amostras de Azul Ecod.....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Condições analíticas estabelecidas pela <i>Transmicell</i> para análise de cada dispersão. ....	21
<b>Tabela 2:</b> Resultados consolidados de transmissão no pico (490 nm) e coordenadas cromáticas do Azul Ftalo. ....	24
<b>Tabela 3:</b> Resultados consolidados de reflexão no vale (600 nm) e coordenadas cromáticas do Azul Ftalo. ....	25
<b>Tabela 4:</b> Resultados consolidados de transmissão no pico (430 nm) e coordenadas cromáticas do Preto. ....	27
<b>Tabela 5:</b> Resultados consolidados de reflexão no vale (700 nm) e coordenadas cromáticas do Preto. ....	28
<b>Tabela 6:</b> Resultados consolidados de transmissão no pico (700 nm) e coordenadas cromáticas do Marrom Óxido.....	29
<b>Tabela 7:</b> Resultados consolidados de reflexão no vale (400 nm) e coordenadas cromáticas do Marrom Óxido. ....	30
<b>Tabela 8:</b> Resultados consolidados de transmissão no pico (500 nm) e coordenadas cromáticas do Azul Ecod.....	32
<b>Tabela 9:</b> Resultados consolidados de reflexão do Azul Ecod. ....	33

## SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Dispersão de pigmentos	3
2.1.1	Mercado de tintas automotivas	3
2.1.2	Composição primária	4
2.1.3	Processo de fabricação	6
2.1.4	Força de Tingimento	7
2.2	Óptica	8
2.2.1	Radiação Eletromagnética	8
2.3	Transmissão da luz	9
2.4	Medida da força de tingimento em dispersões de pigmentos utilizando a transmissão da luz	11
2.5	Coordenadas CIELAB colorimétricas	12
3	Materiais e Métodos	14
3.1	Amostras	14
3.2	Equipamentos	16
3.3	Metodologia Experimental	20
4	Resultados	23
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	35



## 1 Introdução

O fenômeno da cor sempre fascinou o ser humano desde o paleolítico, onde pinturas eram realizadas em cavernas utilizando plantas que forneciam a coloração, carvões, sangue, piches e outras substâncias naturais de maneira a embelezar o ambiente. Ao longo dos anos, cada vez mais os colorantes passaram a ser aperfeiçoados, até o momento em que começaram a ser sintetizados, dando origem ao que hoje é conhecido popularmente como tinta.

Por muitos séculos, a formulação de uma tinta foi uma arte sigilosa, cuidadosamente guardada e passada de geração a geração. Como as tintas eram preparadas em quantidades pequenas, utilizando moinhos arcaicos e métodos de misturas manuais e trabalhosos, elas eram caras e apenas disponíveis para um pequeno segmento mais abastado da sociedade. Com o surgimento da indústria de tintas e vernizes no século XIX, os revestimentos orgânicos ganharam maior difusão popular (Fazenda, 2009).

Segundo dados da Precedence Size (2022), o mercado global da indústria de tintas para 2023 está estimado em 174,79 bilhões de dólares e deve apresentar um crescimento de 4,7 % ao ano até 2030, com uma forte demanda dos setores industriais, imobiliário e automotivo. Destaca-se ainda o forte desempenho dessa indústria durante o período da pandemia, onde o consumo de tintas imobiliárias foi responsável por suprir a queda na demanda em outros segmentos do setor. No Brasil foram produzidos 1,715 bilhões de litros de tinta, sendo 84 % tintas imobiliárias, destacando a enorme dimensão do setor.

Define-se tinta como uma composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendido em uma película fina origina um filme opaco e aderente ao substrato. Os componentes básicos das tintas são resina, pigmento, aditivo e solvente, os quais devem ser ajustados de forma a entregar o melhor resultado necessário para a aplicação.

O grande problema a nível global do setor de tintas consiste na garantia de igualdade de produção lote a lote, onde, devido à grande quantidade de operações unitárias e péssima sensibilidade de métodos de controle, variações significativas são observadas, resultando em um baixo rendimento e alto retrabalho para que se atinja as especificações finais. A principal propriedade responsável pela variação da cor final é a Força de Tingimento (FT) que diz respeito à capacidade de um colorante tingir o meio no qual será disperso.

Neste trabalho será utilizada a técnica inédita de transmissão para controle e avaliação da FT em dispersões de pigmentos juntamente com o método tradicional de reflexão de controle amplamente difundido na indústria de maneira que seja possível comparar os resultados obtidos através das duas técnicas.

## **2 Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo serão abordados tópicos e conceitos importantes para a compreensão do tema de tintas abordado neste trabalho. Além disso, fenômenos ópticos aplicados à tinta serão apresentados a fim de estabelecer a comparação entre o método atual e o proposto.

### **2.1 Dispersão de pigmentos**

O termo dispersão de pigmentos compreende a mais ampla gama de produtos que possuem como objetivo tingir uma superfície, o que se conhece popularmente como tinta. Pela definição, tinta é uma composição líquida constituída por um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em uma película fina, forma um filme geralmente opaco e aderente ao substrato. Esse filme tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies (Fazenda, 2009).

A aplicação da tinta tem como um de seus objetivos principais a proteção de edifícios, instalações industriais e produtos (veículos, eletrodomésticos, móveis, entre muitos outros) contra a ação do tempo, das mudanças climáticas e de outros agentes externos, contribuindo também para a sua higiene e limpeza. Outro importante objetivo da pintura é embelezar os ambientes e superfícies em que é feita (ABRAFATI, 2021).

Produtos que correspondem a etapas intermediárias do processo, como o caso de dispersões concentradas, que, quando misturados nas devidas proporções, irão originar tintas de uso industrial e automotivo, devem ser controlados de maneira muito rigorosa a fim de reduzir ao máximo a variabilidade destes. Os produtos intermediários automotivos serão o enfoque principal do trabalho.

#### *2.1.1 Mercado de tintas automotivas*

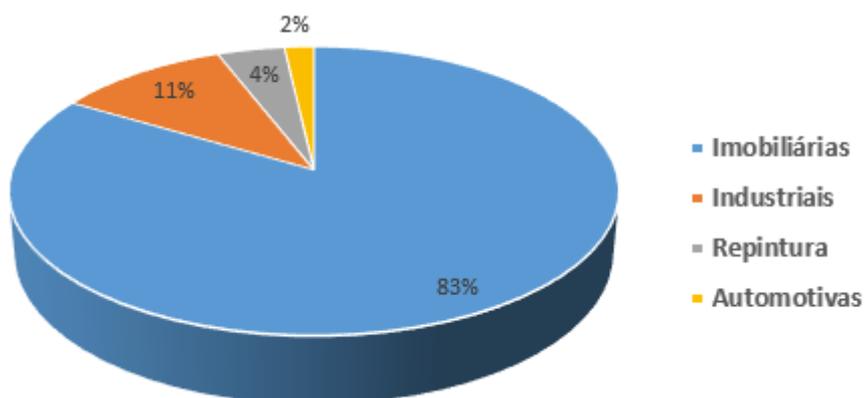
O mercado global para o setor, segundo documento da Fortune Business Insight (2022), está estimado em 21,75 bilhões de dólares e deve quase dobrar atingindo o

valor de 41,87 bilhões de dólares, representando uma taxa anual de crescimento de 9,8 %. O desenvolvimento de novas tecnologias no mercado automotivo, como os carros elétricos, aliado à crescente concorrência entre fabricantes ajudou a impulsionar de forma muito significativa o mercado de tintas automotivas.

Durante os anos de pandemia, ocorreu um declínio grande desse mercado em razão da indústria automobilística também apresentar esse comportamento, chegando a apresentar uma queda de 11 % no ano de 2020 em relação a 2019.

Atendo-se ao mercado brasileiro, em termos de volume de produção, o setor de tintas automotivas OEM (*original equipment manufacturer*) corresponde a 1,8 %, evidenciando o alto valor agregado das mesmas. Observa-se no gráfico apresentado na Figura 2.1 a representatividade de cada setor no mercado de tintas brasileiro, sendo amplamente dominado pelas tintas imobiliárias.

**Figura 2.1:** Representatividade de cada segmento no mercado de tintas brasileiro.



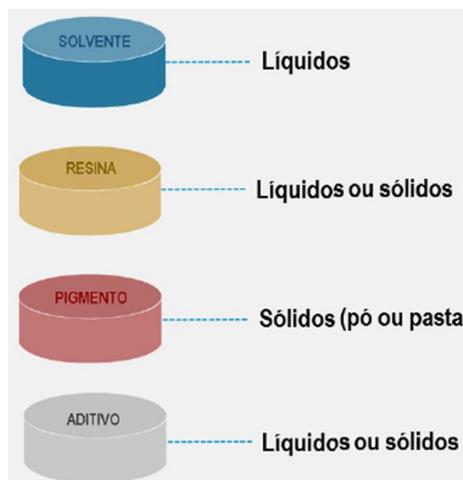
FONTE: ABRAFATI 2022 dados do setor.

### 2.1.2 Composição primária

As tintas, além de serem empregadas para embelezar ambientes, são necessárias também para a proteção contra intempéries causadas pela exposição ao sol, bruscas variações de temperatura, umidade, entre outros. Devido a isso, existe uma ampla variedade de produtos que podem compor uma tinta, conferindo-as as características

necessárias para a aplicação. Os ingredientes fundamentais consistem em resinas, pigmentos, solventes e aditivos que misturados devem formar uma dispersão homogênea. A composição básica de uma tinta é apresentada na Figura 2.2.

**Figura 2.2:** Composição básica da tinta.



Fonte: KRÄNKEL, 2000.

Os pigmentos são os responsáveis por fornecer a cor, bloquear a incidência da luz através do substrato e fornecer propriedades anticorrosivas. Dividem-se entre orgânicos como por exemplo o negro de fumo utilizado na formulação de cores pretas e inorgânicos no caso do dióxido de titânio que é utilizado para produção de cores brancas.

A resina corresponde a parte não volátil da tinta, serve para aglomerar as partículas de pigmentos de maneira a formar uma dispersão estável e influencia diretamente nas propriedades físico-químicas da tinta. O tipo de resina empregado na composição da tinta é tão relevante que o seu nome é atribuído de acordo com a resina empregada. Assim, a tinta alquídica é composta pela resina alquídica, a tinta acrílica pela resina acrílica, etc (CONCEIÇÃO, GOMES, & SAMPAIO, 2012).

O solvente consiste em um líquido com baixo ponto de ebulição, altamente volátil e incolor, responsável por solubilizar a resina e reduzir a viscosidade de maneira a melhorar a aplicação da tinta. Além disso, o solvente deve ser completamente

compatível com a resina e com os pigmentos de maneira que não venha a desestabilizar a dispersão.

Os aditivos estão presentes na formulação visando melhorar propriedades, fornecer maior estabilidade e aplicabilidade do filme. Além disso, é muito raro a quantidade de aditivos exceder em mais de 5 % da composição da tinta. A aplicação dos aditivos exige um grande conhecimento, dado a quantidade de funções que pode ser atribuído, sendo este um trabalho meticuloso e criterioso para o formulador.

### *2.1.3 Processo de fabricação*

Durante o processo de fabricação de uma dispersão de pigmentos, uma grande gama de matérias primas pode ser utilizada dado aos diversos tipos de tintas e suas aplicações. Na figura 2.3 está apresentado um esquema básico do processo de produção de tintas KRANKEL, 2000.

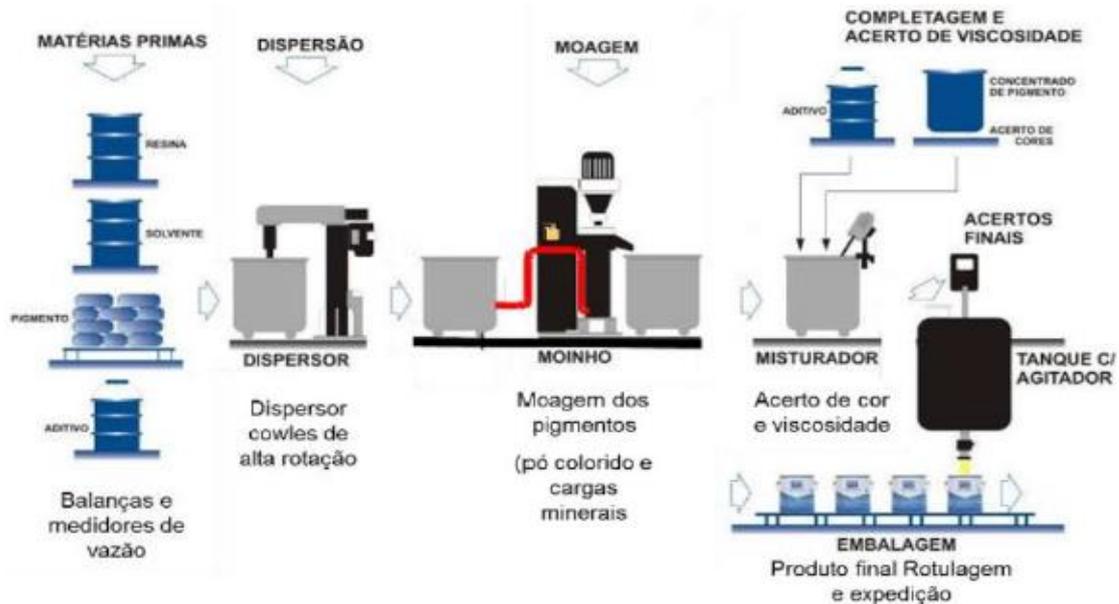
O processo de maneira global é realizado em batelada e de forma muito manual, valendo-se pela produção de lotes. A primeira etapa consiste na dosagem das matérias primas, que irá variar de acordo com o produto desejado, em um tanque com agitação controlada (usualmente de 200 a 1500 L). Nesse tanque, ocorre a dispersão com o objetivo de incorporar as partículas sólidas de pigmento no veículo líquido (mistura de resina, solvente e aditivos) a fim de se obter uma boa estabilidade e homogeneidade.

A terceira etapa consiste na moagem da pasta de pigmento, onde os mesmos são reduzidos ao tamanho desejado de maneira a atingir as propriedades ideais em termos de força de tingimento, cobertura, entre outros.

A quarta etapa diz respeito à adição final dos produtos de maneira a completar a formulação e atingir condições adequadas de viscosidade. Nesta etapa, são realizados os ajustes finais de cor, adicionando muitas vezes outros concentrados, pigmentos e resinas.

Terminada a adição de todos os produtos, é realizado o enchimento das embalagens com o auxílio de máquinas dosadoras, permitindo que as tintas sejam encaminhadas para centros distribuição.

**Figura 2.3:** Esquema básico do processo de produção de uma tinta.

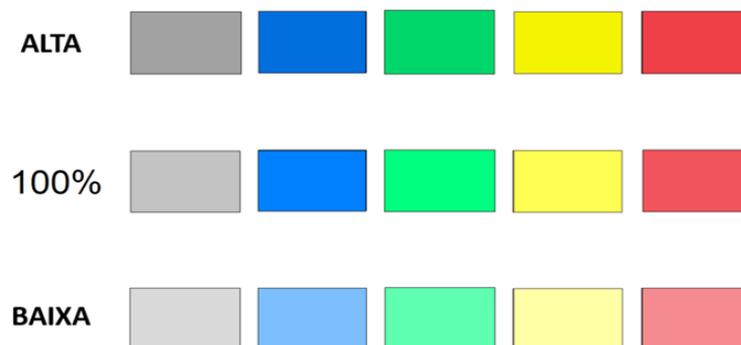


Fonte: KRÄNKEL, 2000.

#### 2.1.4 Força de Tingimento

A principal propriedade das tintas é a Força de Tingimento (FT), que diz respeito ao quanto um pigmento (dispersão) consegue tingir o meio no qual está disperso, e o seu controle é de suma importância. Na Figura 2.4 é possível visualizar como a FT afeta a intensidade/saturação da cor final da tinta.

**Figura 2.4:** Variação da Força de Tingimento em três níveis nas cores finais.



Fonte: Adaptado de RMA TECH.

Atualmente a FT é controlada através do método de reflexão seguindo a norma ISO 787 – 16, elaborada pela Organização Internacional da Padronização (*International Organization for Standardization*), que especifica como a medição deve ser realizada. Para a realização da medida de FT, finas películas do produto são estendidas em cartelas padronizadas e de baixa absorção.

A mistura que é aplicada em cartelas deve ser cortada com uma base branca de TiO<sub>2</sub> na proporção 1:25, de forma que seja possível discriminar com melhor precisão a influência da mistura. A seguir um espectrofotômetro que opera por reflexão deve ser utilizado para medição da FT.

A Força de Tingimento é dada em termos percentuais, sendo baseada na razão entre o fator de absorção e de espalhamento (K/S) no comprimento de onda de máxima absorção da amostra e do padrão conforme Equação 2.1.

$$\text{Força de Tingimento (\%)} = \frac{\text{Amostra } K/S(nm)}{\text{Padrão } K/S(nm)} \times 100 (\%) \quad \text{Equação 2.1}$$

onde:

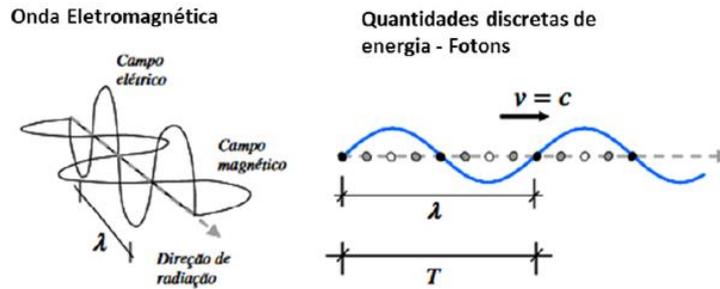
K/S: fator de absorção e de espalhamento no comprimento de onda de máxima absorção.

A reflexão é sempre lida no vale da onda (comprimento de onda onde há menor reflexão), dessa forma, há maior sensibilidade para os valores K/S utilizados na Equação 2.1 para cálculo da força de tingimento.

## 2.2 Óptica

### 2.2.1 Radiação Eletromagnética

Radiação eletromagnética é definida como uma oscilação em fase de campos magnéticos e elétricos. Essas oscilações dos campos são perpendiculares entre si, compreendidas como a propagação de uma onda transversal, cujas oscilações são perpendiculares à direção do movimento da onda, conforme Figura 2.5.

**Figura 2.5:** Comportamento dual da luz – Onda e partícula.

Fonte: Peixoto, 2016.

Einstein postulou que a energia de um raio de luz, além de estar distribuída no espaço como uma combinação de corrente elétrica alternada e campo magnético, está concentrada em quantidades discretas de energia (Villate, 2005).

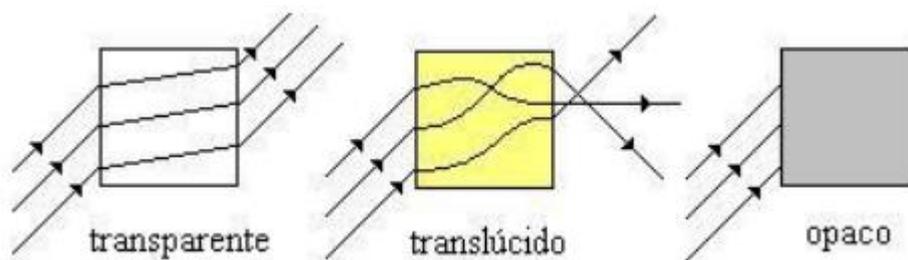
O comprimento de onda ( $\lambda$ ) visível abrange a faixa de 400 a 700 nm de forma que cada cor apresenta um  $\lambda$  específico, onde as cores mais quentes estão mais próximas do 700 nm e as cores frias do 400 nm. A Figura 2.6 a seguir ilustra o espectro visível.

**Figura 2.6:** Espectro da luz visível.

Fonte: Peixoto, 2016.

### 2.3 Transmissão da luz

A transmissão da luz através superfícies ou objetos é um fenômeno amplamente conhecido e também é ligada à absorção da luz que corresponde à porção que não consegue atravessar o material. Para que seja possível, o objeto deve ser transparente, ou parcialmente, de forma a não obliterar por completo a luz. A Figura 2.7 abaixo apresenta o comportamento da luz quanto a três diferentes materiais.

**Figura 2.7:** Materiais transparentes, translúcidos e opacos.

Fonte: Peixoto, 2016.

Existem três formas de transmissão, podendo ser direta, difusa ou seletiva. A primeira diz respeito a não alteração da direção e da intensidade quando a luz passa pela matéria, já na segunda a luz é desviada de forma suave perdendo também intensidade causada por efeitos do objeto. A seletiva diz respeito às cores, onde parte é absorvida pelo material e a outra parte transmitida. Quando uma luz branca é projetada em uma superfície vermelha, a luz transmitida será da mesma cor.

A transmissão da luz é utilizada em meios analíticos para determinar propriedades de soluções translúcidas através da Lei de Beer (Equação 2.2) com o auxílio de um espectrofotômetro.

$$A = \epsilon bc \quad \text{Equação 2.2}$$

onde:

A = absorvância;

$\epsilon$  = absortividade molar em L/cm/mol;

b = caminho ótico em cm;

c = concentração da amostra em mol/L.

Tratando-se de dispersões de pigmentos, a lei de Beer não é válida uma vez que espalhamentos em múltiplas direções podem ocorrer e com isso devem ser incluídos no cálculo. A teoria que melhor descreve o fenômeno da transmissão para materiais pigmentos é a expressão matemática desenvolvida por Kubelka Munk através do fator

de absorvidade  $K$  e dos múltiplos espalhamentos  $S$  de forma que sofra um decaimento exponencial com esses fatores.

#### 2.4 Medida da força de tingimento em dispersões de pigmentos utilizando a transmissão da luz

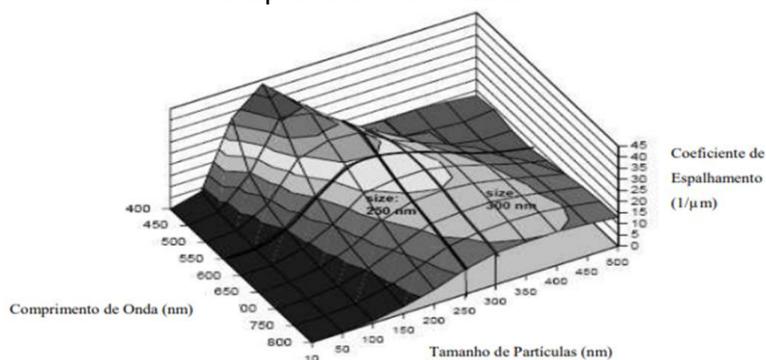
A medição da FT em dispersões de pigmentos de alta opacidade utilizando a transmissão da luz é recente e realizada exclusivamente pelo equipamento específico apresentado no capítulo da metodologia.

Usualmente, a FT, quando medida, segue características diretamente proporcionais à opacidade do meio, ou seja, uma dispersão com elevada opacidade irá apresentar uma alta FT e uma baixa quantidade de luz transmitida. A porção restante da luz é absorvida, refletida ou dispersada.

Analisando a questão morfológica dos pigmentos responsáveis por fornecer opacidade, observa-se que, quanto menor o tamanho da partícula, maior será a soma das áreas superficiais, dessa forma mais luz será bloqueada pelo substrato, totalmente coerente em termos físicos.

No entanto, existem casos onde se observa o comportamento contrário, onde a transmissão da luz está inversamente relacionada à FT. Esse fato está relacionado a uma baixa interação luz-partícula de forma que não haja efeitos suficientes para fornecer opacidade ao meio. A Figura 2.8 apresenta a distribuição dos tamanhos de partículas e suas interações nos comprimentos de onda do espectro visível.

**Figura 2.8:** Dependência do tamanho da partícula com a interação da luz em diferentes comprimentos de onda.



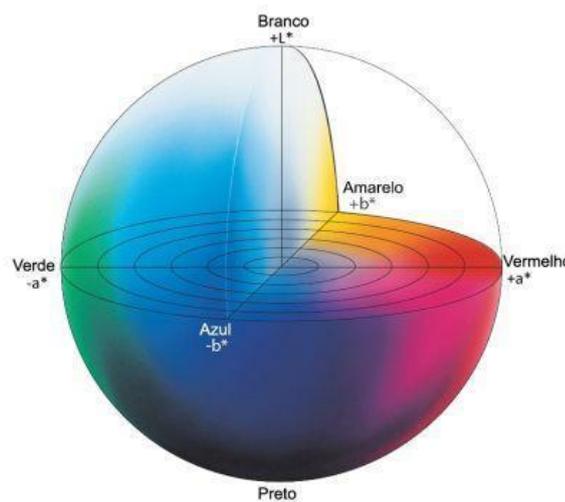
Fonte: Tiarks, 1996.

A distribuição de partículas acima mostra que há um decaimento expressivo na interação quando o tamanho de partícula for inferior a  $100\ \mu\text{m}$ , apresentando assim um comportamento translúcido quando analisado via transmissão. Observa-se o mesmo para partículas com tamanho superiores a  $400\ \mu\text{m}$  onde ocorre um menor grau de interação.

## 2.5 Coordenadas CIELAB colorimétricas

Em 1976 foi definido pela comissão internacional de iluminação (CIE) o espaço CIELAB em termos de coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e é amplamente utilizado nos dias atuais, pois correlaciona de forma consistente os valores de cor com a percepção visual. Diversas indústrias utilizam esse conjunto de valores para identificar e atribuir padrões de cores para diversos produtos além de mensurar desvios e inconsistências. O digrama esférico com as coordenadas colorimétricas é apresentado na Figura 2.9.

**Figura 2.9:** Diagrama esférico do espaço da cor  $L^*a^*b^*$ .



Fonte: Konica Minolta Sensing Americas

A medida do desvio ou inconsistência em relação a uma cor padrão é uma aplicação de extrema utilidade, avaliando a diferença quadrática do conjunto através do  $\Delta E$  a partir da equação (2.3).

$$\Delta E = \sqrt{[(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2]} \quad \text{Equação (2.3)}$$

onde:

$L_1, a_1, b_1$  correspondem às coordenadas colorimétricas da referência;

$L_2, a_2, b_2$  correspondem às coordenadas colorimétricas do padrão.

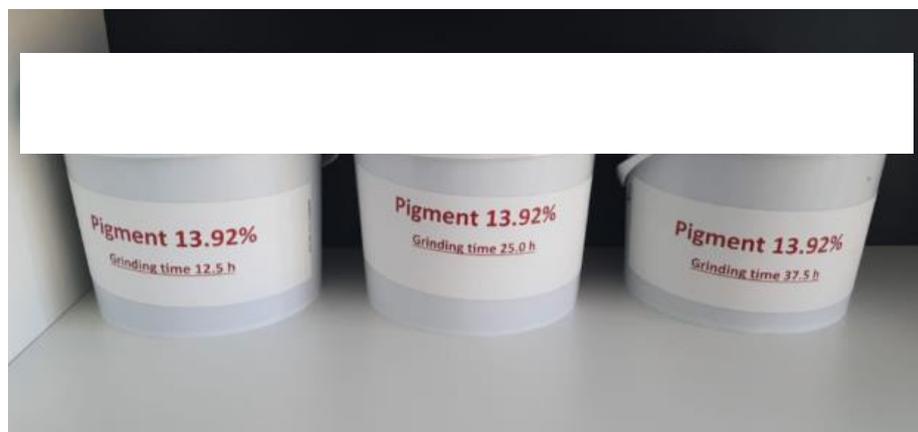
### 3 Materiais e Métodos

Todos os ensaios realizados para este trabalho utilizaram o equipamento *Transmicell* com amostras de dispersões de pigmentos automotivas providas do exterior e fornecidas por uma empresa de grande dimensão no setor, todas dentro do prazo de validade. A seguir estão descritos os materiais e equipamentos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho e o procedimento experimental adotado.

#### 3.1 Amostras

A primeira corresponde ao óxido de ferro de coloração avermelhada com diferentes tempos de moagem empregados no processo. A Figura 3.1 exibe as três amostras nos devidos recipientes.

**Figura 3.1:** Amostras da dispersão de pigmentos óxido de ferro.



A segunda amostra utilizada foi uma dispersão de pigmentos preta provenientes de diferentes etapas do processo produtivo, conforme Figura 3.2.

**Figura 3.2:** Amostras da dispersão de pigmentos preta.



A terceira amostra corresponde à dispersão de pigmentos azul ftalo com diferentes tempos de moagem durante o processo de acordo com a Figura 3.3.

**Figura 3.3:** Amostras da dispersão de pigmentos azul ftalo.



A quarta amostra empregada é um azul ecod com diferentes energias específicas utilizadas no processo de produção da dispersão, conforme Figura 3.4.

**Figura 3.4:** Amostras da dispersão de pigmento azul ecod.



As amostras foram inicialmente homogeneizadas de maneira satisfatória e filtradas em uma peneira comum de uso culinário a fim de evitar de possíveis sedimentos que possam causar alguma obstrução no equipamento. As cores foram escolhidas em função de apresentarem um alto consumo no mercado de tintas automotivo e todas as dispersões utilizadas são à base de água.

### 3.2 Equipamentos

O equipamento utilizado para realizar as medidas de transmissão da luz em dispersões de pigmentos é inédito no mundo, sendo denominado *Transmicell*, versão laboratório, produzido no Brasil pela empresa RMA TECH Tecnologia Industrial Ltda e se encontra patenteado PCT/BR2019/050381. Em suma, o princípio do equipamento consiste em buscar uma condição analítica específica para cada produto, de maneira a permitir que um feixe de luz seja transmitido através de um fino filme de amostra, sendo essa registrada e lida por um espectrofotômetro e usada comparativamente para a medida de propriedades como FT. Uma imagem deste equipamento está representada na Figura 3.5.

**Figura 3.5:** Equipamento *Transmicell* utilizado nas análises.



Fonte: RMA TECH.

A operação de uma leitura é simples, a amostra é inserida no tanque da máquina (cerca de 100 mL) e logo após é encontrada uma condição analítica ideal para cada produto de forma totalmente automática, sendo necessário realizar apenas uma rotina específica em seu *software*. Existem três graus de liberdade que possibilitam isso, sendo eles a potência luminosa que varia entre 1 a 100 vezes, o caminho óptico 4000  $\mu\text{m}$  ou 200  $\mu\text{m}$  e a diluição analítica da máquina (utilizado água deionizada neste trabalho).

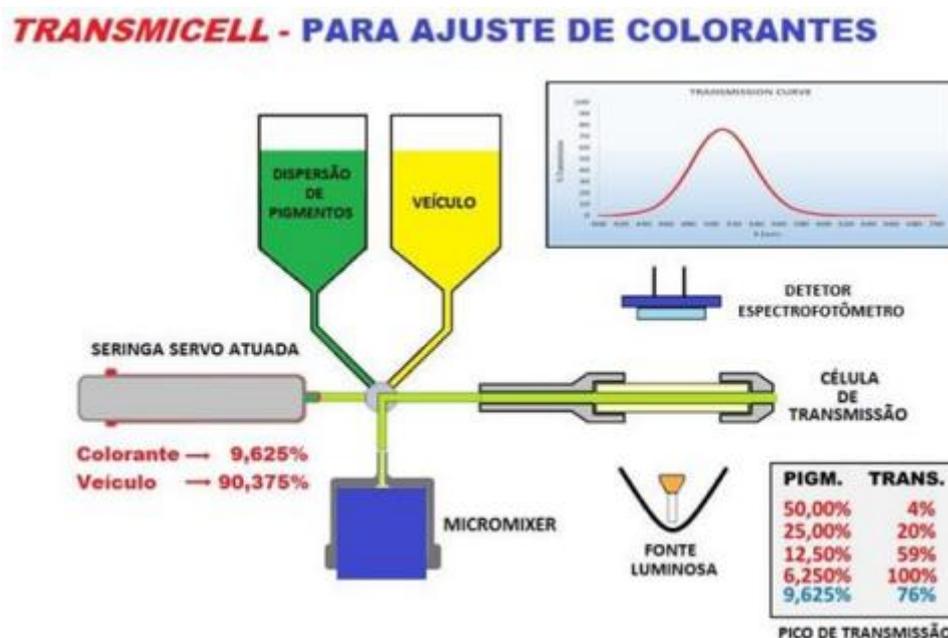
A potência luminosa é controlada por filtros atenuadores, permitindo trabalhar com faixas de 1x, 10x, 50x e 100x. A fonte luminosa é composta por uma série de lâmpadas que juntas emitem um espectro com um alto nível de energia em todas as regiões do visível de maneira que seja possível discriminar qualquer cor.

O espectrofotômetro empregado é manufaturado também pela empresa RMA TECH e conta com a presença de feixe duplo, eliminando interferência da corrente

elétrica e outras variações na própria fonte, como por exemplo, o mau funcionamento de alguma lâmpada.

Na Figura 3.6 é possível visualizar um esquema representativo da busca da condição analítica da máquina e o resultado de cinco iterações. O *micromixer* é responsável pela homogeneização da amostra e do veículo (água deionizada neste caso) e injeção de maneira controlada na célula de leitura.

**Figura 3.6:** Esquema simplificado da leitura por Transmissão no equipamento *Transmicell* para ajuste de colorantes.



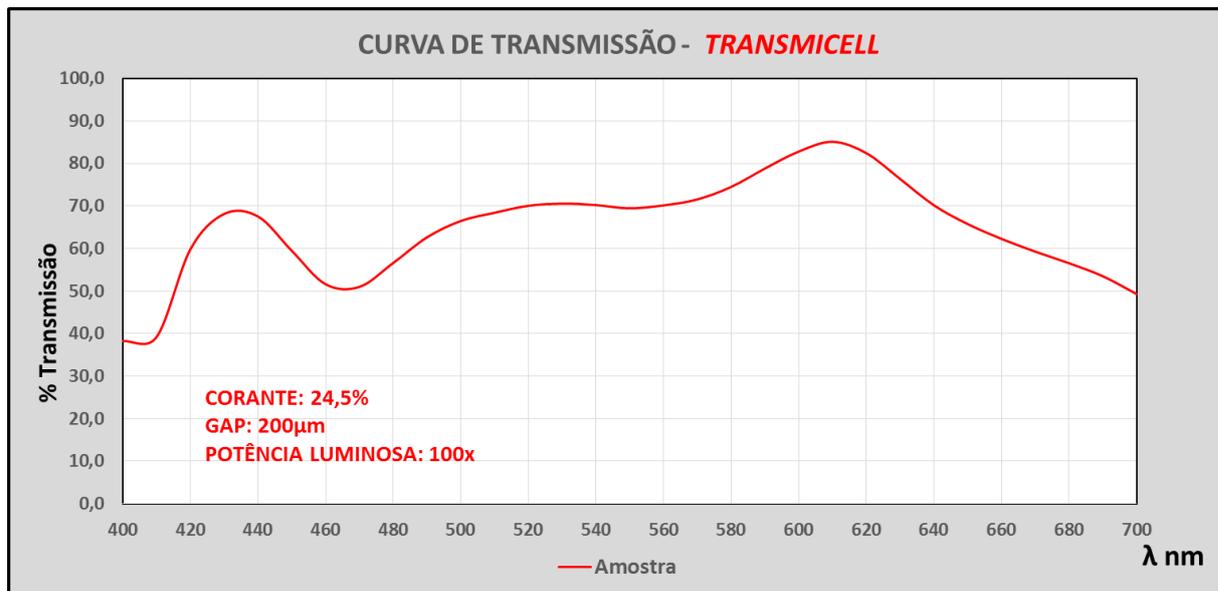
Fonte: RMA TECH

A transmitância é lida sempre no pico da curva, ou seja, no comprimento de onda em que a luz apresenta seu maior grau de transmissão percentual. A faixa ideal de trabalho está entre 75 % a 90 % em razão de apresentar uma baixa relação sinal – ruído do espectrofotômetro.

Ao final do processo de leitura, a máquina realiza uma limpeza de forma totalmente automática utilizando solvente de limpeza e descontaminando todo o circuito para a leitura de um novo produto.

Na Figura 3.7 está apresentado um exemplo de uma curva de transmissão, pode-se observar o comportamento do produto analisado em todo o espectro visível. Neste caso, a amostra em questão é um branco com alto teor de pigmento ( $\text{TiO}_2$ ) e a luz é transmitida em grande quantidade ao longo de todo o espectro com decaimentos nas regiões extremas.

**Figura 3.7:** Exemplo de uma curva de transmissão.

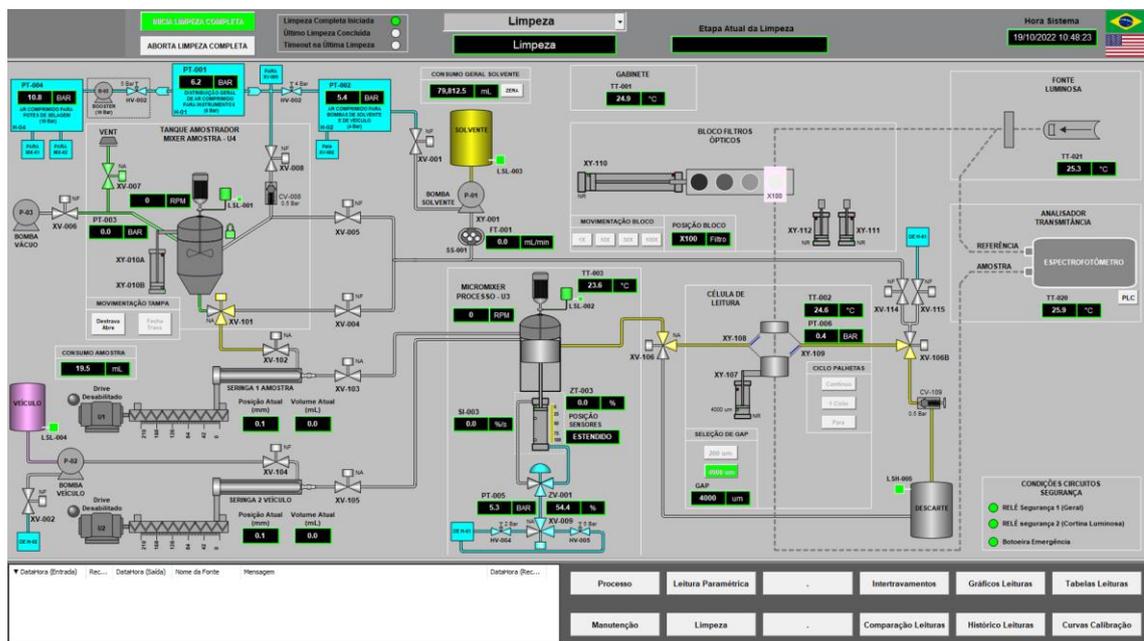


Fonte: O autor

A leitura de uma amostra é acompanhada de todos os parâmetros utilizados e dos valores das coordenadas CIELAB. Usualmente é realizado a média das três curvas que apresentaram valores mais próximos de forma a reduzir a variação ocasionada.

O supervisor de controle do equipamento, apresentado na Figura 3.8, permite que seja acompanhada cada etapa do processo de leitura e é totalmente parametrizável caso seja de interesse a alteração dos graus de liberdade.

**Figura 3.8:** Supervisório de controle de processo da *Transmicell*.



Fonte: O autor

O equipamento apresenta um excelente valor de *R&R* (repetibilidade e reprodutibilidade), conforme estudo realizado, estimado em 15 % com o auxílio de um *software* estatístico. Segundo a faixa, 10 a 20 % representam valores ótimos e considerados adequados para uso laboratorial e industrial, levando a concluir que o equipamento é altamente confiável quanto a variações no resultado e no operador ao longo dos dias.

### 3.3 Metodologia Experimental

Preliminarmente ao uso do equipamento, uma rotina de calibração do espectrofotômetro é realizada utilizando água como referência para o valor de 100 % de transmissão ao longo de todo o espectro visível de forma que esse veículo não venha a interferir nas medidas de transmissão.

Findada a calibração, procede-se com a busca pela condição analítica ideal para a leitura de cada um dos produtos. Por se tratar de 4 famílias de produtos, a condição

irá variar para cada uma delas. Na Tabela 1 estão apresentadas as condições analíticas utilizadas para cada família de amostras.

**Tabela 1:** Condições analíticas estabelecidas pela *Transmicell* para análise de cada dispersão.

Condições Analíticas				
Concentrado	Azul Ftalo	Preto	Marrom	Azul
Diluição Analítica (%)	32,0%	9,0%	18,0%	15,0%
Potência Luminosa	100x	100x	10x	100x
Caminho Óptico ( <i>gap</i> , $\mu\text{m}$ )	200 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$
Tempo no micromixer (s)	8	8	8	8
Retardo de Leitura (s)	2	2	2	2

Encontrada a condição, realizou-se leituras subsequentes de cada amostra a fim de comprovar a estabilidade da medição e do produto. Ao final, uma média das últimas leituras é realizada e salva como valor padrão.

Paralelamente, ensaios via reflexão também são realizados, com extensão em uma cartela Leneta 2A utilizando um aplicador manual de 250  $\mu\text{m}$  seguindo a ISO 787-16. O espectrofotômetro de reflexão utilizado para avaliação da FT é fabricado pela empresa Datacolor, modelo Check 3 de origem chinesa e apresentado na Figura 3.9.

**Figura 3.9:** Espectrofotômetro Datacolor Check 3.



Fonte: O autor

Operações unitárias relacionadas à pesagem, quando necessárias, são realizadas em uma balança analítica com duas casas decimais. Todos os ensaios via reflexão foram realizados em triplicata de forma a minimizar variações do próprio método.

A base branca, utilizada nos ensaios de reflexão para realizar a mistura com as amostras, foi comprada no comércio local e verificada sua compatibilidade com os materiais analisados através de uma mistura 1:10 amostra, critério definido pelo autor.

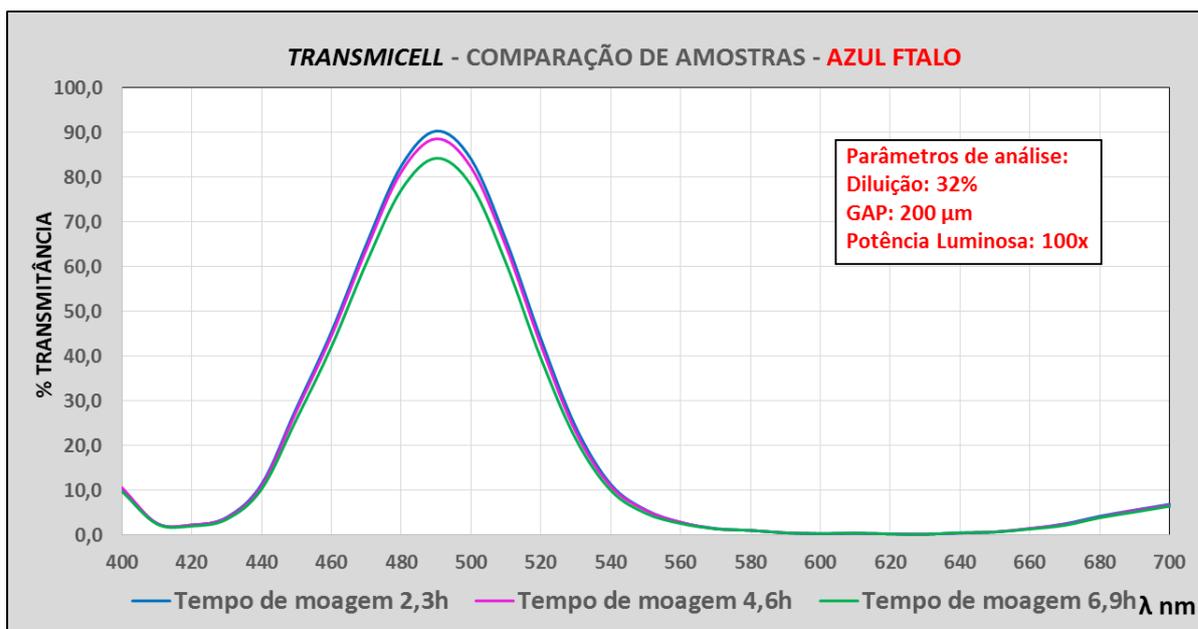
## 4 Resultados

A seguir são apresentados todos os resultados obtidos para os quatro diferentes produtos por meio da reflexão e transmissão de forma que seja possível estabelecer uma comparação entre eles.

### Amostra 1 – azul ftalo

A dispersão de pigmentos azul ftalo apresentou o comportamento esperado, conforme mencionado anteriormente, menor transmissão no pico (490 nm), maior FT observada, conforme apresentado na Figura 4.1.

**Figura 4.1:** Espectros de transmissão para as três amostras de azul ftalo.



Na Tabela 2 todos os resultados de transmitância no pico, as coordenadas colorimétricas de transmissão e os erros obtidos para cada uma das amostras são apresentados.

**Tabela 2:** Resultados consolidados de transmissão no pico (490 nm) e coordenadas cromáticas do azul ftalo.

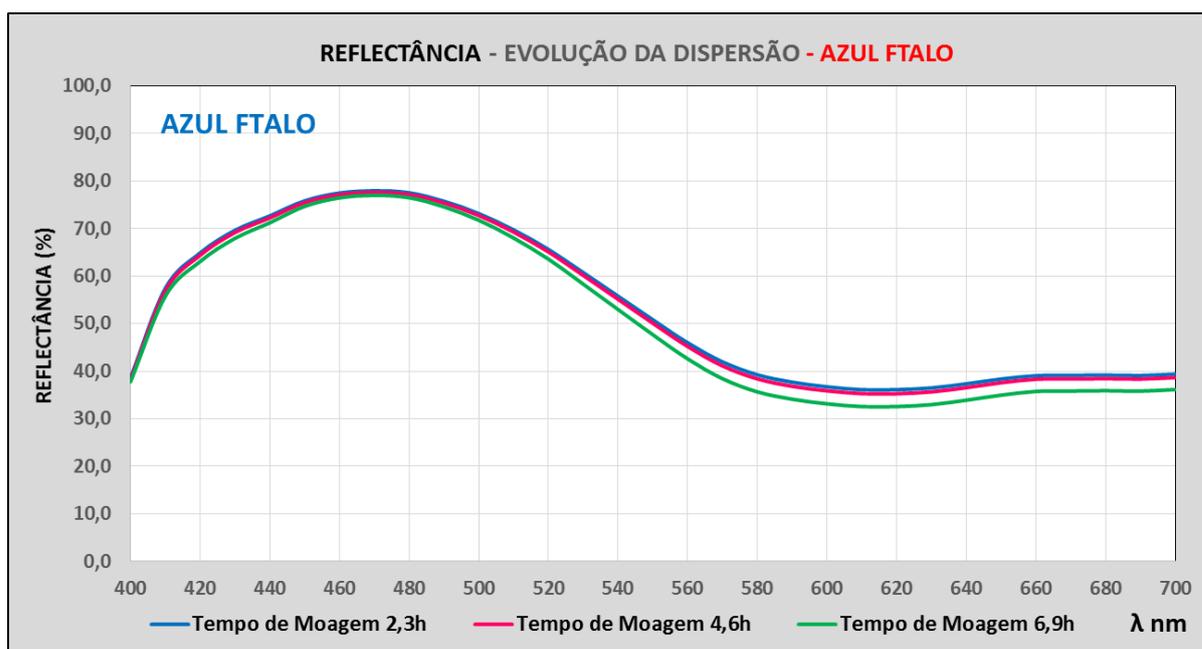
Azul Ftalo	L	a	b	$\Delta E$	% Transmit. (490nm)	$\Delta$ % Transm. [Relat. 1° Passe]
Tempo Moagem 2,3h	53,42	-83,95	-21,43	0,00	90,35	-
Tempo Moagem 4,6h	52,85	-83,08	-21,43	1,03	88,61	-1,73
Tempo Moagem 6,9h	51,47	-81,56	-21,21	3,09	84,26	-6,09

A partir da análise dos dados apresentados na Tabela 2, verifica-se que conforme o tempo de moagem aumenta, há um maior grau de dispersão dos pigmentos fazendo com que mais luz seja bloqueada pelo substrato.

É possível afirmar pelos resultados que conforme aumenta o tempo de moagem, verifica-se uma maior FT da dispersão de modo que seja possível controlar o processo com a devida eficiência.

Pela análise do gráfico de reflexão apresentado na Figura 4.2 observa-se um comportamento semelhante ao obtido na análise de transmissão, onde a curva verde correspondente à terceira amostra apresentou maior FT.

**Figura 4.2:** Espectros de reflexão para as três amostras de azul ftalo.



Na Tabela 3 apresentada a seguir estão reunidas todas as informações obtidas através das leituras por reflexão.

**Tabela 3:** Resultados consolidados de reflexão no vale (600 nm) e coordenadas cromáticas do azul ftalo.

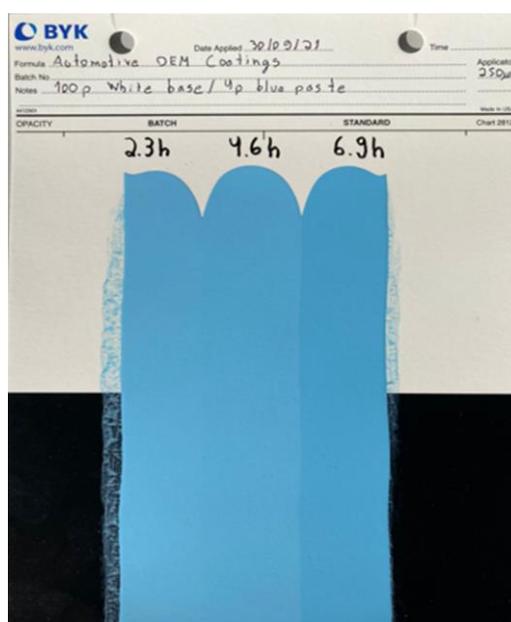
Azul Ftalo	L	a	b	$\Delta E$	% Reflex. (600nm)	$\Delta$ % Reflex. [Relat. 1° Passe]
Tempo Moagem 2,3h	77,69	-14,32	-19,04	0,00	36,71	0,00
Tempo Moagem 4,6h	77,29	-14,61	-19,41	0,62	35,87	-0,84
Tempo Moagem 6,9h	76,01	-15,55	-20,87	2,77	33,14	-3,57

A análise da Tabela 3 com os valores de reflexão permite observar o mesmo comportamento obtido na análise via transmissão, sendo a amostra com maior tempo de moagem a que apresentou menor valor de reflexão no vale de 600 nm.

Os valores das coordenadas CIELAB mostram que, ao longo do tempo, a amostra ficou mais escura, pois o valor de  $L^*$  apresentou redução, mais azulada de acordo com a coordenada  $b^*$  e levemente mais esverdeada conforme coordenada  $a^*$ .

Na Figura 4.3 é apresentado a extensão em cartela das amostras na proporção 1:25 com uma base branca de forma que seja possível discriminar visualmente as diferenças das três amostras de azul.

**Figura 4.3:** Extensão em cartela das três amostras de azul ftalo.

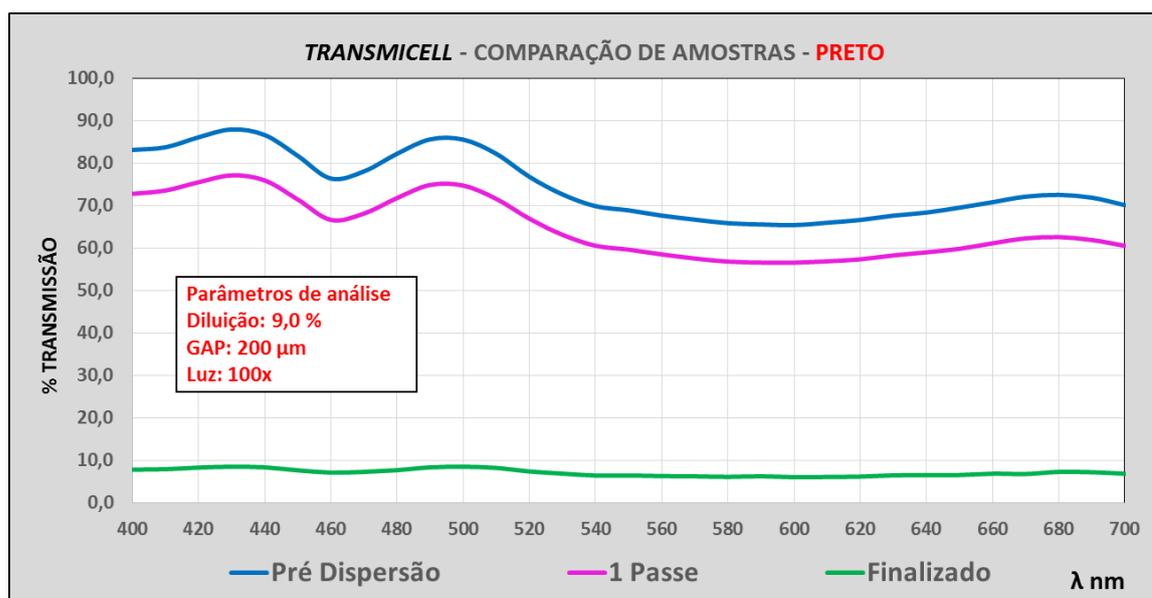


A extensão em cartela das três amostras mostra a evolução da FT e sua consequente alteração na tonalidade das cores obtidas, confirmando de maneira visual os resultados observados nas duas técnicas.

### Amostra 2 – Preto

A dispersão de pigmentos pretos apresentou comportamento muito similar ao da amostra de azul ftalo, conforme espectros de transmissão apresentados na Figura 4.4.

**Figura 4.4:** Espectros de transmissão para as três amostras de Preto.



A curva verde apresentou a maior FT entre as analisadas e uma grande diferença na transmissão em relação à curva azul e à magenta, sugerindo que a amostra finalizada apresenta ainda diversos processos adicionais comparado à amostra de um passe.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores das coordenadas colorimétricas obtidas por transmissão bem como os valores de transmitância no pico.

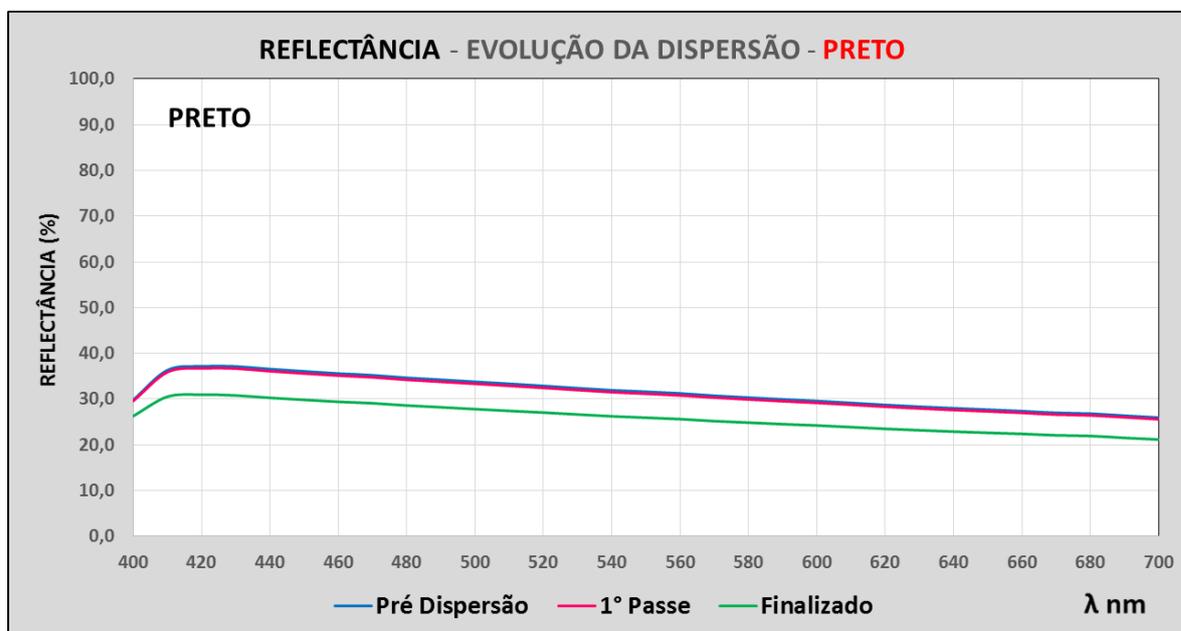
**Tabela 4:** Resultados consolidados de transmissão no pico (430 nm) e coordenadas cromáticas do preto.

Preto	L	a	b	$\Delta E$	% Transmit. (500nm)	$\Delta$ % Transm. [Relat. 1° Passe]
Pré Dispersão	87,80	-2,99	-8,60	0,00	87,92	-
1° Passe	82,98	-3,01	-8,72	4,82	77,10	-10,82
Finalizado	31,21	-1,84	-4,04	56,79	8,48	-79,44

A análise de transmissão evidencia as diferenças no grau de dispersão das amostras, sendo registrado uma diferença máxima de aproximadamente 80 pontos percentuais no pico de transmissão. Os resultados mostram a eficiência do processo com uma alta diferença na transmissão entre a primeira e a terceira amostra, evidenciando o aumento na FT da dispersão.

As curvas de reflexão são apresentadas na Figura 4.5. A análise das curvas demonstra o mesmo comportamento observado na técnica de transmissão.

**Figura 4.5:** Espectros de transmissão para as três amostras de preto.



Os resultados das coordenadas colorimétricas obtidos por reflexão são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Resultados consolidados de reflexão no vale (700 nm) e coordenadas cromáticas do preto.

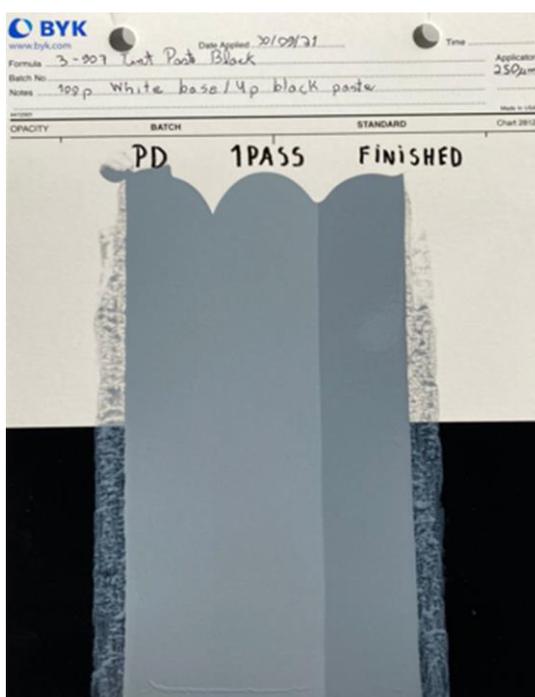
Preto	L	a	b	$\Delta E$	% Reflex. (700nm)	$\Delta$ % Reflex. [Relat. 1° Passe]
Pré Dispersão	63,01	-1,71	-5,91	0,00	31,94	0,00
1° Passe	62,66	-1,70	-5,91	0,35	31,51	-0,43
Finalizado	57,99	-1,59	-5,90	5,02	26,25	-5,69

A análise por reflexão também discriminou as três amostras com uma distinção maior na amostra referida como finalizado em cerca de 6 pontos percentuais no vale de reflexão.

As coordenadas CIELAB evidenciam que a amostra ficou mais escura em seu estado final dada a redução de aproximadamente cinco pontos em L\*. Os valores de b\* ficaram praticamente constantes e o valor de a\* cresceu ligeiramente para a direção do vermelho.

A extensão em cartela é apresentada na Figura 4.6 a seguir para as três amostras de preto.

**Figura 4.6:** Extensão em cartela das três amostras de Preto.



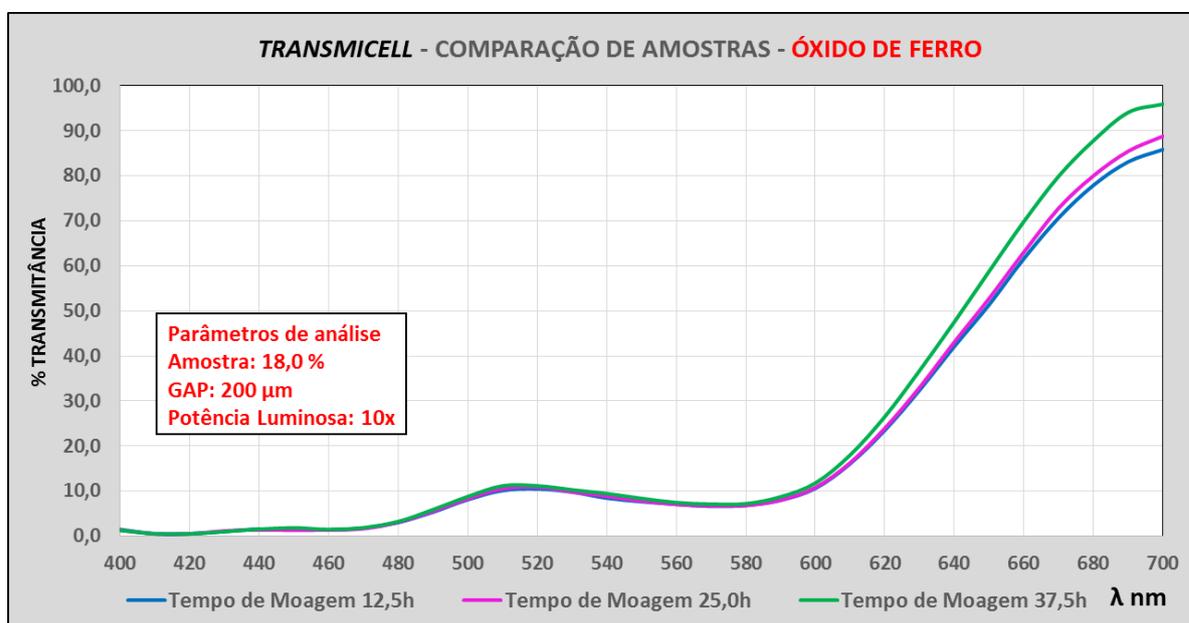
A extensão em cartela das amostras mostrou de forma muito satisfatória a diferença existente entre a amostra referida como *finished* e as demais. Além disso, pode-se comprovar o escurecimento da amostra em seu estado final.

### Amostra 3 – óxido de ferro

O óxido de ferro apresentou um comportamento diferente dos abordados anteriormente, pois a amostra com maior tempo de moagem apresentou maior transmissão no pico. Conforme abordado anteriormente, esse resultado está ligado diretamente ao tamanho da partícula do pigmento presente na dispersão.

Os espectros de transmissão para as três amostras de óxido de ferro são apresentados na Figura 4.7.

**Figura 4.7:** Espectros de transmissão para as três amostras de óxido de ferro.



Na Tabela 6 estão apresentadas as informações obtidas a partir das curvas espectrais de transmissão do óxido de ferro e os valores das coordenadas cromáticas.

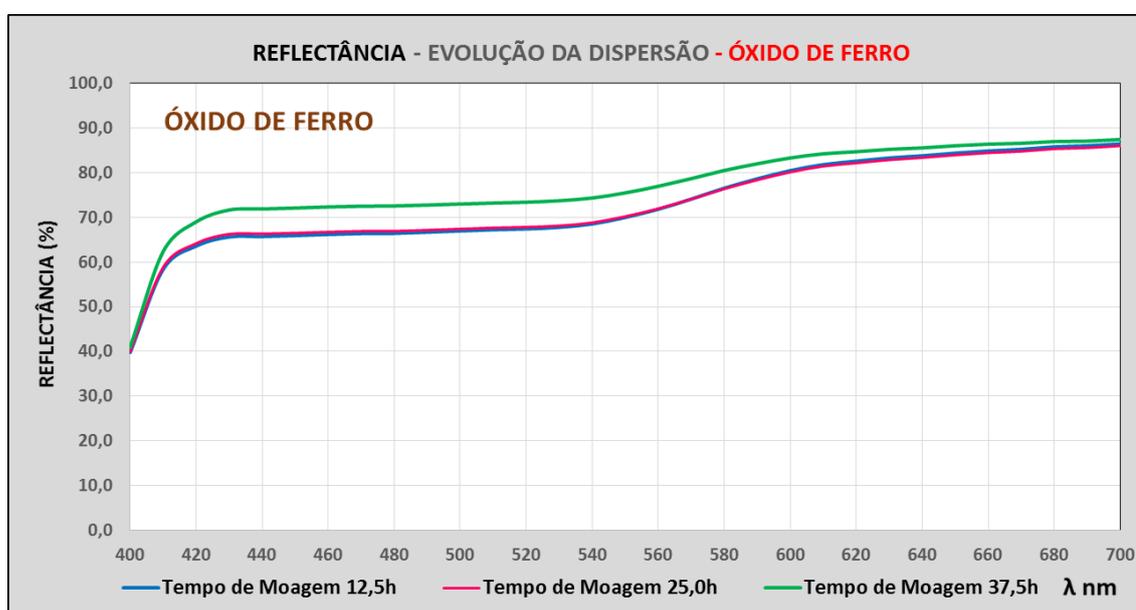
**Tabela 6:** Resultados consolidados de transmissão no pico (700 nm) e coordenadas cromáticas do óxido de ferro.

Óxido de Ferro	L	a	b	$\Delta E$	% Transmit. (700nm)	$\Delta$ % Transm. [Relat. 1º Passe]
Tempo Moagem 12,5h	38,38	18,98	40,53	0,00	85,85	-
Tempo Moagem 25,0h	38,72	18,89	41,43	0,97	88,80	2,95
Tempo Moagem 37,5h	40,09	20,87	41,99	2,95	95,94	10,09

A análise de transmissão discriminou cerca de 10 pontos percentuais entre a primeira e a terceira amostra no pico de transmissão. Os resultados evidenciam que houve evolução na FT conforme a evolução do tempo de moagem, indicando a eficiência do processo.

Através da reflexão, foi possível observar o mesmo comportamento que apresentou na transmissão sendo a amostra de maior tempo de moagem àquela com maior reflexão no vale conforme Figura 4.8.

**Figura 4.8:** Espectros de reflexão para as três amostras de Óxido de Ferro.



Na Tabela 7 estão apresentados os valores de reflexão para as amostras marron. Esses resultados mostram que foi possível discriminar em cerca de 6 pontos no vale de reflexão entre as amostras.

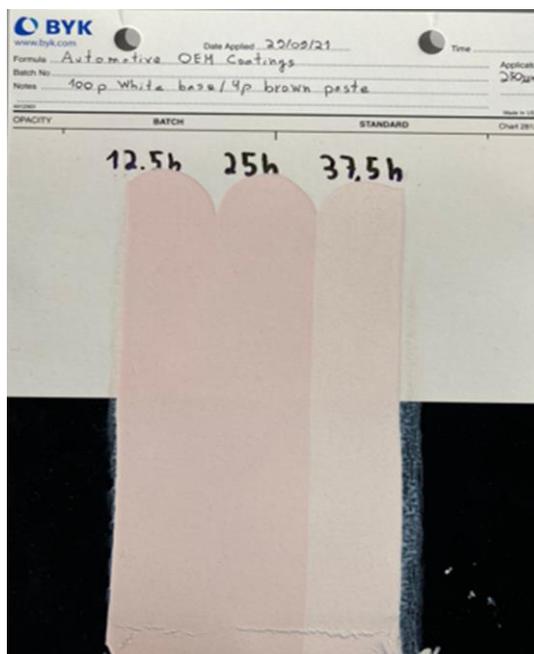
**Tabela 7:** Resultados consolidados de reflexão no vale (400 nm) e coordenadas cromáticas do Óxido de Ferro.

Óxido de Ferro	L	a	b	$\Delta E$	% Reflex. (400nm)	$\Delta$ % Reflex. [Relat. 1° Passe]
Tempo Moagem 12,5h	88,13	6,02	5,77	0,00	67,24	0,00
Tempo Moagem 25,0h	88,19	5,72	5,38	0,50	67,66	0,42
Tempo Moagem 37,5h	90,40	4,17	4,54	3,18	73,21	5,97

Observou-se o mesmo comportamento visto em transmissão, sendo a amostra com o maior tempo de moagem aquela que apresentou maior reflexão no vale, evidenciando uma maior transparência. De acordo com os valores das coordenadas CIELAB, a amostra apresentou um valor de L\* crescente ao longo do tempo, indicando que ficou mais clara. A coordenada a\* indica que a tendência que a amostra apresentou em direção ao verde e a coordenada b\* que ficou levemente mais azulada.

Na Figura 4.9 estão apresentadas as extensões em cartela do óxido de ferro.

**Figura 4.9:** Extensão em cartela das três amostras do Óxido de Ferro.

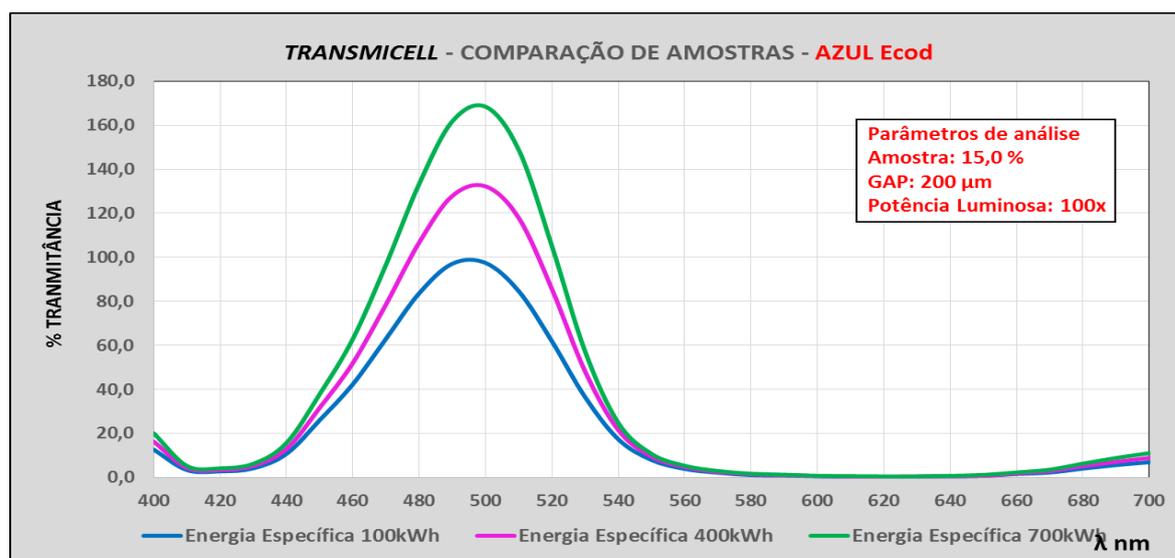


A extensão em cartela confirmou os resultados, com a amostra de maior tempo de moagem apresentando um tom mais claro em relação às demais.

#### Amostra 4 – azul ecod

A dispersão azul ecod apresentou um comportamento semelhante, com um crescimento elevado na transmissão no pico para cada uma das amostras analisadas, sendo aquela onde foi empregado 700 kWh a que apresentou maior transmitância no pico. As curvas espectrais de transmissão são apresentadas na Figura 4.10.

**Figura 4.10:** Espectros de transmissão para as três amostras de azul ecod.



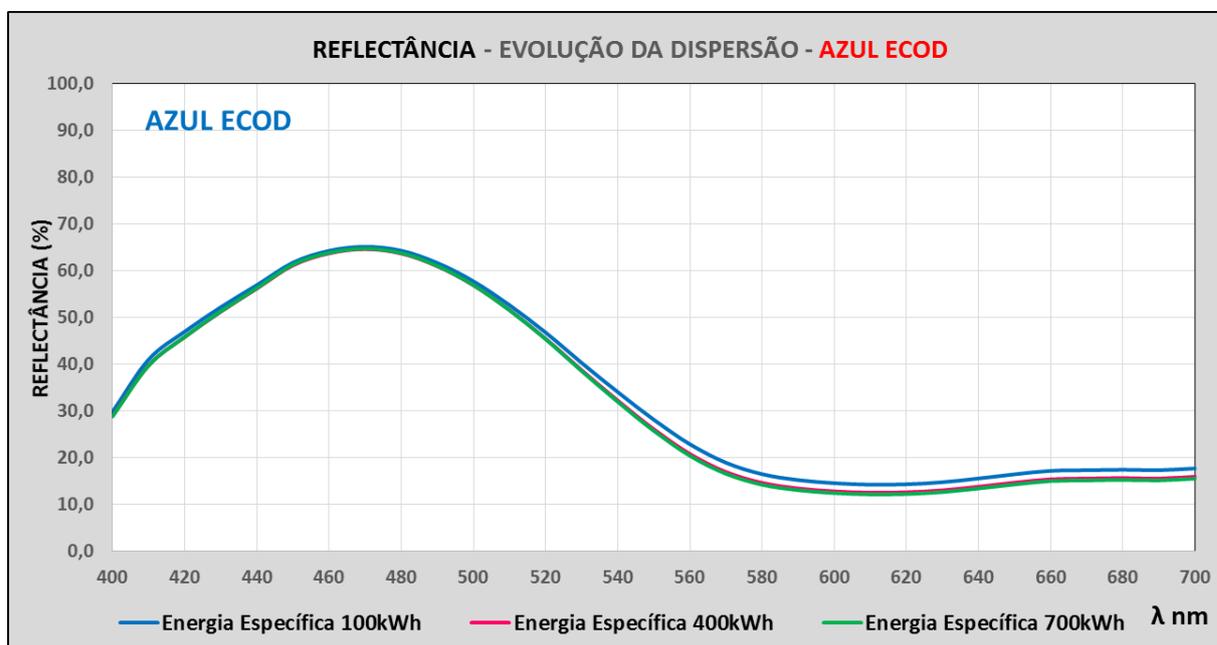
Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de transmitância no pico obtidos para o azul ecod e as respectivas coordenadas colorimétricas de transmissão.

**Tabela 8:** Resultados consolidados de transmissão no pico (500 nm) e coordenadas cromáticas do azul ecod.

<b>Azul ECOD</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Δ E</b>	<b>% Transmit. (500nm)</b>	<b>Δ % Transm. [Relat. 1º Passe]</b>
Energia Esp. 100kWh	58,43	-97,53	-12,38	0,00	97,45	-
Energia Esp. 400kWh	65,80	-111,53	-10,93	15,89	132,22	34,77
Energia Esp. 700kWh	71,75	-121,63	-11,50	27,55	168,37	70,92

No pico de transmissão foi possível discriminar aproximadamente 71 pontos percentuais utilizando as amostras de 100 e 700 kWh como referência. Os valores apresentados indicam a eficiência do processo devido a evolução da FT.

As curvas espectrais de reflexão para as três amostras de azul ecod mostram a evolução da reflexão no vale para as três amostras e são apresentadas na Figura 4.11.

**Figura 4.11:** Espectros de reflexão para as três amostras de Azul Ecod.

Nas curvas de reflexão observou-se o comportamento inverso, houve uma queda no valor de reflexão no vale conforme o aumento da energia específica empregada.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados de reflexão no vale do azul ecod bem como suas respectivas coordenadas colorimétricas.

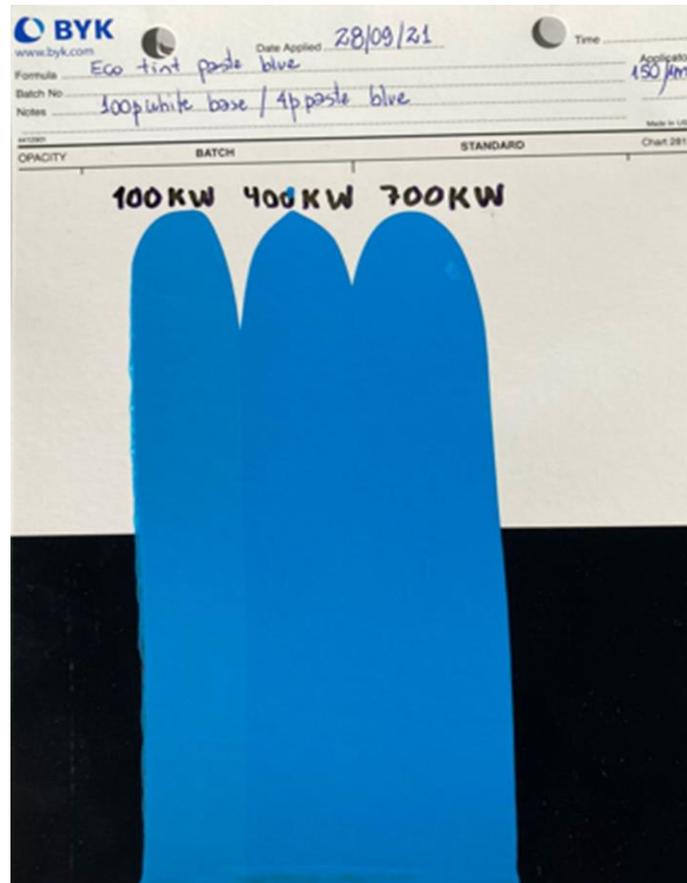
**Tabela 9:** Resultados consolidados de reflexão do azul ecod.

Azul ECOD	L	a	b	$\Delta E$	% Reflex. (600nm)	$\Delta$ % Reflex. [Relat. 1° Passe]
Energia Esp. 100kWh	63,51	-21,70	-30,50	0,00	14,56	0
Energia Esp. 400kWh	62,17	-22,59	-32,13	2,29	12,81	-1,75
Energia Esp. 700kWh	61,97	-22,86	-32,56	2,82	12,45	-2,11

Conforme análise dos dados apresentados na tabela, verifica-se que ocorre uma pequena queda para valores de reflexão no vale, sendo que para a energia de 700 kWh obteve-se o menor valor. A análise das coordenadas colorimétricas mostra que a dispersão ficou mais escura devido à redução de  $L^*$ , levemente mais esverdeada conforme coordenada  $a^*$  e mais amarelada de acordo com a coordenada  $b^*$ .

Na Figura 4.12 estão apresentadas as três extensões em cartela para a amostra azul ecod.

**Figura 4.12:** Extensão em cartela das três amostras de azul ecod.



De maneira geral, todos os resultados mostraram que o controle de FT a partir da técnica de transmissão discriminou de maneira muito satisfatória as amostras, evidenciando a eficiência dos processos de produção. Além disso, observou-se que o controle das dispersões através da transmissão é muito mais sensível quando comparado ao método de reflexão.

## 5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Neste trabalho apenas os valores de transmissão no pico foram avaliados, relacionados diretamente à FT de cada uma das dispersões com o objetivo de verificar o comportamento ao longo de diferentes etapas do processo produtivo. Todos os resultados mostram que a técnica de transmissão apresenta uma sensibilidade muito maior comparativamente à técnica tradicional de reflexão. No azul ftalo, a variação da reflexão no vale (600 nm) foi de 3,57 pontos percentuais quando comparado ao primeiro passe enquanto em termos de transmissão no pico (490nm) foi de 6,09 pontos percentuais, o que corresponde a um valor de aproximadamente 1,7 vezes mais sensibilidade para a nova técnica.

As coordenadas colorimétricas e a extensão em cartela confirmaram de maneira muito satisfatória as medições realizadas utilizando ambas técnicas, apresentando a devida variação na intensidade das cores provocada pela força de tingimento.

A dispersão de pigmentos preta apresentou 5,69 pontos percentuais de diferença medidos por reflexão, enquanto que em transmissão observou-se 79,44 pontos percentuais, resultando em uma sensibilidade 14 vezes maior para a transmissão.

A extensão em cartela e coordenadas colorimétricas corroboram de maneira similar com os resultados observados via transmissão e reflexão, apresentando uma elevada alteração na tonalidade entre a primeira e a última amostra.

No óxido de ferro foi observado uma diferença de 5,97 pontos percentuais de reflexão no vale comparativamente à primeira amostra, já através da técnica de transmissão observou-se 10,09 pontos no pico de transmissão. A sensibilidade foi 1,69 vezes maior para a técnica de transmissão.

Devido ao tamanho das partículas de pigmento, o óxido de ferro apresenta um comportamento contrário para o controle da FT, sendo que essa está relacionada com o acréscimo da transmissão e da reflexão. Observou-se um crescimento da reflexão no vale aproximado de 6 pontos percentuais e da transmissão no pico em cerca de 10 pontos.

Conforme análise em cartela, é possível confirmar esses resultados, sendo a última amostra apresentando uma maior diferença na tonalidade. Para esse pigmento, o efeito desejado é de transparência devido ao alto tempo de moagem e observado em todos os ensaios.

Para o azul ecod a reflexão apresentou uma diferença de 2,11 pontos percentuais de reflexão e em transmissão no pico de 500 nm uma diferença de 70,92 pontos percentuais, representando uma sensibilidade cerca de 34 vezes maior.

As diferenças observadas quando comparamos a sensibilidade nos quatro tipos de dispersões pode ser explicada pelo diferente comportamento óptico de cada pigmento e tamanho das partículas dispersas o que pode influenciar muito nos resultados da técnica de transmissão.

Através da técnica pode-se controlar de maneira muito eficiente as diversas etapas do processo e assim extrair sempre a FT máxima disponível de cada dispersão. Observou-se a evolução das curvas de transmissão de maneira muito mais sensível quando comparado às de reflexão.

A nova técnica também elimina as mais diversas operações unitárias relacionadas ao método de reflexão convencional, como pesagens, aplicação, cura e misturas o que possibilita uma alta sensibilidade e estabilidade.

Coordenadas colorimétricas CIELAB  $L^*a^*b^*$  foram mensuradas e verificadas quanto a seu comportamento no espaço colorimétrico, apresentando resultados coerentes. Futuramente pretende-se abordar questões mais complexas envolvendo o controle e ajuste dessas propriedades.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P. **European Coating Handbook**. 2ed. Hannover: Vicentz Network, 2010.

ISO 18314-2 - International Organization for Standardization - **Tinting Strength, Hiding Power, Saunderson Correction**. Genebra, Switzerland, 2018.

ASTM D48838-88 - American Society for Testing and Materials for Standardization - **Standard Test Method for Determining the Relative Tinting Strength of Chromatic Paints**. Genebra, Switzerland, 2018.

TIARKS, F.; FRECHEN, T. **Formulation effects on the distribution of pigment particles in paints**. Prog. Org. Coat. 48. 2003. 140–152p.

Gueli, A. M.; Bonfiglio, G; Pasquale, S.; Troja, S.O. **Effect of particle size on pigments colour**. Color research and application. Volume 42, Issue 2, 236-242p.

ABRAFATI, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. **Dados do setor, São Paulo, 2022**. Disponível em: <<https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/dados-do-setor/>>. Acesso em 18 de jan. de 2023.

Precedence Research. **Paints and Coatings Market Size**. Disponível em: <<https://www.precedenceresearch.com/paints-and-coatings-market>>. Acesso em 2 fev. 2023.

Fazenda, J.M.R. **Tintas Ciência e Tecnologia**. 4 eds. versão ampliada, São Paulo, editora Blucher, 2009.

Peixoto, C. A. M. **Ajuste da cor de tintas no estado líquido**. Porto Alegre, 2016.

KRÄNKEL, F. ([200-]). **Treinamento - Pintura Industrial com Tintas Líquidas**. Guaramirim: Tintas WEG Ltda.

**Konica Minolta Sensing Americas**. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/applications/color-measurement/>. Acesso em 01 fev. 2023.