

24° PRÊMIO ABRAFATI DE CIÊNCIA EM TINTAS

ESPECTROSCOPIA DE TRANSMISSÃO APLICADA NO AJUSTE DE
PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS DE *STAINS* PARA MADEIRA E
CONTROLE DE FORÇA DE TINGIMENTO DE PIGMENTOS DE EFEITO

RESUMO

A cor e a força de tingimento são propriedades extremamente importantes na indústria de tintas, seja para aplicação industrial, decorativa/arquitetônica, automotiva, entre outras. As etapas de correção de cor e força de tingimento são responsáveis por grande parte do tempo de ciclo do processo de controle de qualidade das tintas, sendo, portanto, um dos principais gargalos de produção dentro da indústria de tintas. Essas propriedades possuem um controle rigoroso para que as diferenças entre os lotes do produto sejam as menores possíveis, de forma a se tornarem imperceptíveis ao cliente e consumidor final.

Os *stains*, ou tingidores para madeira, fazem parte dos diversos produtos da indústria de tintas onde a cor e seu nível de transparência devem ser rigidamente controlados. O processo de controle desse tipo de produto é complexo e demorado devido as características de transparência e saturação necessárias para sua finalidade, e que por esta razão tornam difícil a utilização de algumas metodologias usuais para ajuste de cores sólidas.

As bases de pigmentos de efeito (alumínios e pérolas) por sua vez, são vastamente aplicadas na indústria de revestimentos automotivos e vem ganhando espaço em outros setores, como por exemplo o moveleiro. A versatilidade e capacidade de agregar valor estético estão impulsionando essa tendência em direção a uma ampla gama de produtos e aplicações.

Da mesma forma, como ocorre nos *stains*, a metodologia de ajuste das bases de pigmentos de efeito é um processo que implica na realização de diversas operações manuais, se tornando diretamente influenciada pelo método e pelo fator humano e, portanto, amplificando os erros relacionados a esse método.

Neste estudo, utilizando dados espectrais de transmissão coletados pelo equipamento Transmicell, de forma automática e com o material *in natura* (a úmido), será abordada uma inovadora metodologia para correção de cor e transparência em *stains* e também para o ajuste e controle da força de tingimento de bases de pigmentos de efeito.

O ajuste de cor através da técnica de transmissão em *stains* foi realizado através de um software matemático de formulação de cores, com base na criação de um banco de dados colorimétrico a partir dos componentes de uma determinada fórmula.

Já o ajuste de bases metálicas foi realizado através de cálculos matemáticos baseados numa curva de resposta em transmissão do próprio material.

Os resultados de ambos os ajustes (*stains* e pigmentos de efeito), foram demonstrados através de curvas de transmissão e comprovados através do método convencional de aplicação do filme seco por espectroscopia de reflexão e sua análise visual.

Palavras-chave: *indústria de tintas; stains; ajuste de cor; bases metálicas; pigmentos de efeito; força de tingimento; espectroscopia de transmissão; espectroscopia de reflexão; controle de qualidade; Transmicell; tecnologia a úmido.*

SUMÁRIO

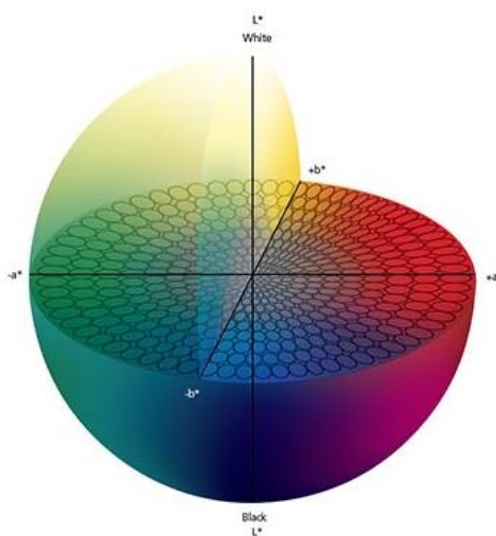
1 INTRODUÇÃO	4
1.1 TINGIDORES PARA MADEIRA (<i>Stains</i>).....	5
1.2 BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO (Metálicos e Perolizados).....	7
1.3 PROPÓSITO DO ESTUDO	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1 <i>TRANSMICELL</i>	10
2.2 METODOLOGIA DE CORREÇÃO DE COR EM STAINS	12
2.2.1 Análise de Transmissão.....	13
2.2.2 Banco de Dados.....	13
2.3 METODOLOGIA PARA CONTROLE E AJUSTE DA FORÇA DE TINGIMENTO DE BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO	14
2.3.1 Determinação da Condição Analítica.....	15
2.3.2 <i>Gradiente de Concentração</i>	16
2.3.3 <i>Cálculo do Ajuste de Força de Tingimento</i>	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 <i>STAINS</i> – TINGIDORES PARA MADEIRA	17
3.2 BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO – ALUMÍNIO E PÉROLA	25
3.2.1 <i>Amostra 1</i>	25
3.2.2 <i>Amostra 2</i>	29
3.2.3 <i>Amostra 3</i>	31
3.2.4 <i>Amostra 4</i>	32
3.2.5 <i>Estudos Adicionais</i>	34
4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	35
5 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O termo “cor” surgiu na Roma antiga e, desde então, vem sendo utilizado como forma de expressar a sensação visual obtida da natureza através dos raios de luz (NUNES, 2012). Desde os primórdios da humanidade se estuda sobre as cores e com o passar do tempo surgiu a necessidade da criação de sistema unificado para as medidas de cor, de forma a especificar essa propriedade numericamente, possibilitando uma reprodução exata delas.

Dentre os diversos sistemas de cor existentes, o chamado “espaço de cor L,a,b”, também conhecido como CIELab, é atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes usados para avaliar as cores. Esse sistema é muito utilizado pois correlaciona consistentemente os valores de cor com a percepção visual. Indústrias como as de plástico, tintas, impressão, alimentos e têxtil utilizam este espaço para identificar, comunicar e avaliar os atributos da cor, além das inconsistências ou desvios de uma cor padrão (FIOROTTO, 2023). A Figura 1 demonstra o círculo de cores do sistema CIELab.

Figura 1 – Sistema de cores CIELab



Fonte: Mouw (2018)

As diferenças de cor (Δ) são definidas pela comparação numérica entre a amostra e o padrão. Os deltas para L (ΔL), a (Δa) ou b (Δb) podem ser negativos ou positivos. Uma diferença em “L” significa uma cor mais clara (+) ou mais escura (-). Uma diferença positiva em “a” significa que a cor está mais vermelha, enquanto negativa indica uma cor mais

esverdeada que a referência. Em “b” uma diferença positiva significa uma cor mais amarelada, ao passo que a diferença negativa indica que a cor está mais azulada que o padrão.

Para avaliar a diferença total de cor, determina-se o ΔE CIELab, que é dado a partir da raiz quadrada da soma dos quadrados dos deltas L, a, e b e significa a distância vetorial entre dois pontos no espaço de cor (DATACOLOR, 2019). O ΔE CIELab apenas indica a magnitude da diferença total de cor, sem informações a respeito da correção necessária. É o parâmetro comumente utilizado para a aprovação ou reprovação de uma cor num controle de qualidade das indústrias.

1.1 TINGIDORES PARA MADEIRA (*Stains*)

Os tingidores para madeira, também conhecido como *stains*, são produtos formulados especificamente para proteger, colorir ou realçar a cor de superfícies de madeira. Além de serem utilizados para fins de proteção de madeiras expostas a intempéries, são também utilizados pela indústria moveleira para alterar a aparência da madeira, destacar seus padrões naturais e harmonizá-la com o design de interiores ou móveis. Esses produtos podem ser à base de água ou à base de solvente e estão disponíveis em uma variedade de cores e tonalidades para atender às preferências estéticas de um mercado em ascensão.

Os *stains*, como diversos outros produtos da indústria de tintas, necessitam de um controle rigoroso de cor para que não sejam perceptíveis alterações de tonalidade entre diferentes lotes ao serem aplicados na madeira. A etapa de correção das propriedades colorimétricas é responsável por grande parte do tempo de ciclo envolvido no processo de controle de qualidade da indústria de tintas, sendo este ainda maior quando se trata de tingidores devido a dificuldade de unir o ajuste de transparência e tonalidade num único processo.

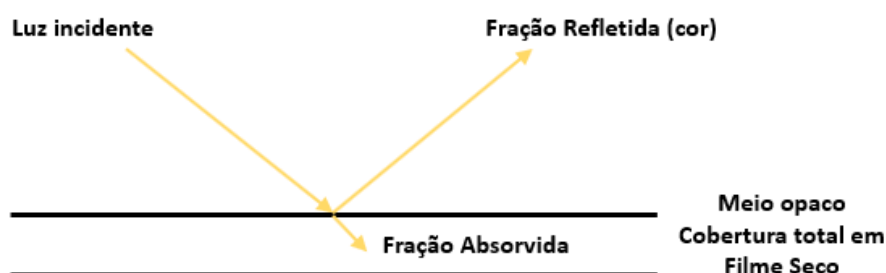
Devido às suas características de saturação e transparência não é possível de ser realizado um ajuste de cor através de espectroscopia de reflexão a seco ou a úmido, como no caso de materiais opacos. O fato de o material ser translúcido implica que, quando aplicado em um painel ou cartela para a leitura da sua reflexão, o substrato e a espessura de aplicação terão grande influência na medida, dificultando muito que diferenças de cor sejam detectadas devido ao espectrofotômetro captar a reflexão causada em grande parte pelo substrato.

Caso a análise seja realizada com espessura suficiente para cobrir completamente o substrato, como no caso de uma leitura de reflexão à úmido, a alta saturação impedirá que os desvios de cor sejam identificados pelo espectrofotômetro. Desta forma, existe a demanda pelo

desenvolvimento de um novo método para o ajuste de cor de materiais com estas características, tais como os *stains* para tingimento de madeiras.

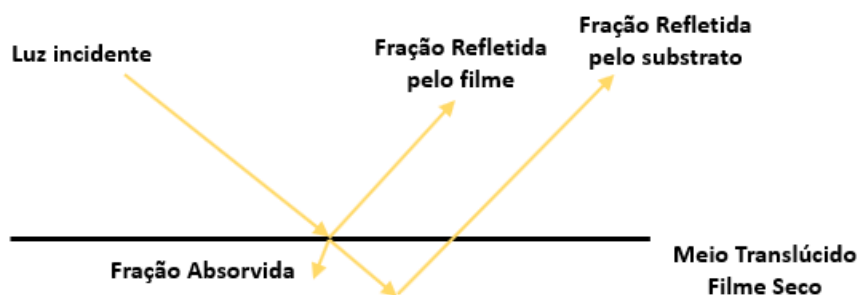
Um esquema simplificado é mostrado nas Figuras 2 e 3 para ilustrar a diferença entre os efeitos que ocorrem na análise de reflexão em um filme com cobertura total do substrato (meio opaco) e num meio com cobertura parcial do substrato (meio translúcido).

Figura 2 – Efeitos da reflexão em meios opacos



Fonte: Autores (2023)

Figura 3 - Efeitos da reflexão em meios translúcidos

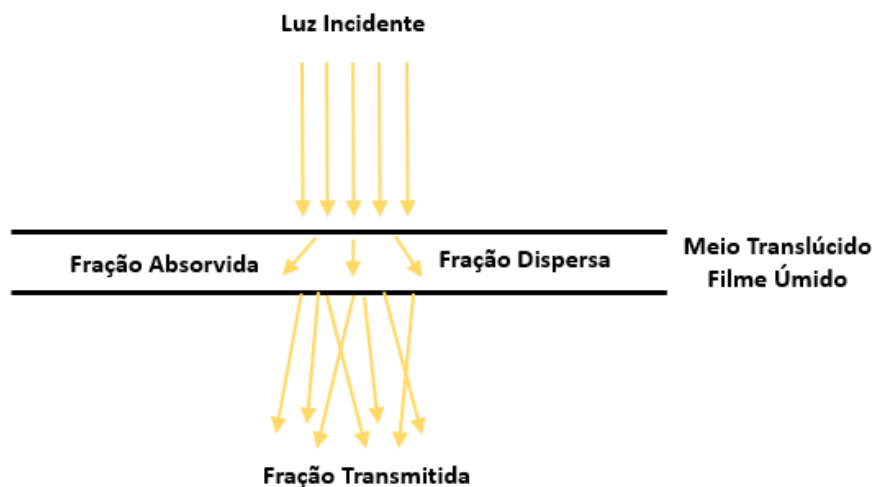


Fonte: Autores (2023)

No caso da reflexão sob um meio opaco, uma fração da luz incidente é absorvida e a restante é refletida, resultando na cor característica do filme. Em um filme seco translúcido, a luz incidente terá uma parte absorvida, uma parte refletida pelo próprio filme e outra parte refletida pelo substrato. Neste caso, as duas reflexões irão se somar e causar uma leitura imprecisa no espectrofotômetro.

Na transmissão da luz através de um filme translúcido e úmido, como ocorre na análise por espectrofotometria de transmissão, são observados efeitos de absorção e de dispersão da luz, que modificam a trajetória da luz incidente, porém, sua maior fração é transmitida através do filme até o lado oposto ao raio incidente. A Figura 4 demonstra estes efeitos.

Figura 4 - Efeitos da transmissão em meios translúcidos



Fonte: Autores (2023)

O método convencional para avaliação de cor de tingidores é realizado de forma manual e consiste na aplicação do produto em painel ou substrato amadeirado, em uma determinada espessura, simulando a aplicação final, e posterior leitura de reflexão, que por sua vez sofre muita influência do substrato e ocasiona medidas pouco reprodutivas. Por fim é feita uma comparação visual para avaliação da conformidade com um padrão de cor estipulado. Essa metodologia é dependente da sensibilidade do colorista em detectar sutis diferenças entre amostras, gerando erros diretamente ligados a metodologia de aplicação e ao fator humano, consequentemente resultando numa repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) ruim para o método.

1.2 BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO (Metálicos e Perolizados)

Outro exemplo de material com a característica de transparência e que da mesma forma possui grandes dificuldades no seu controle e ajuste são as bases de pigmentos de efeito (alumínios e pérolas), que têm uma ampla aplicação na indústria de revestimentos automotivos, entre outros.

As bases metálicas de alumínios têm efeito sobre a luminosidade (L) de uma cor, tornando-a mais clara ou escura, caracterizando um efeito similar ao pigmento branco na composição de uma cor, que ainda se altera de acordo com o ângulo de incidência da luz. Já as

bases perolizadas influenciam todas as coordenadas de cor (L,a,b), mudando a percepção da cor de acordo com o ângulo de observação.

Da mesma forma que ocorre nos *stains*, o controle de qualidade de bases de efeito envolve a execução de várias tarefas manuais, o que o torna diretamente suscetível à influência do fator humano, aumentando, assim, as possibilidades de erros associados a esse procedimento. Dentre diversos fatores, o alto valor agregado relacionado a estes produtos torna o custo de produção elevado, seja pelo preço dos pigmentos de efeito ou pelo fato de que a aplicação desses pigmentos muitas vezes requer técnicas especiais e cuidadosas para garantir que o efeito desejado seja alcançado, devendo envolver mão de obra especializada e equipamentos específicos para tal.

A força de tingimento destas bases, quando misturada a outros colorantes, possui influência direta na cor do produto final e seu controle é extremamente difícil utilizando os atuais métodos disponíveis para medição dessa propriedade. A avaliação do efeito metálico/perolizado é realizada por análise de reflexão multi ângulos, porém o ajuste final da cor ainda depende da certificação de conformidade realizada por um colorista, que pondera a proximidade com os padrões aplicados já existentes através da análise visual.

A dificuldade do ajuste da força de tingimento destas bases em uma faixa de especificação estreita no método convencional acaba por gerar retrabalho, devido ao fato que o efeito causado pela base metálica/perolizada pode não ser o esperado ao serem misturados os colorantes, sendo necessário de maneira frequente o acréscimo de outros ingredientes à fórmula para compensar os efeitos causados por este controle deficiente.

1.3 PROPÓSITO DO ESTUDO

Assim sendo, conforme relatado acima, é reconhecida pela indústria de tintas a necessidade de aperfeiçoar os métodos de controle destes produtos, de forma a aliar a constância de alta qualidade, produtividade e sustentabilidade, traduzindo-se, em última análise, em economia de custos.

Diante disso, uma nova técnica vem sendo desenvolvida e estudada para possibilitar o ajuste de cor e transparência em *stains* e da força de tingimento em bases de pigmentos de efeito. A medida e ajuste destas propriedades à úmido, através da espectroscopia de transmissão, tem se mostrado uma alternativa promissora e que caminha rumo à integração *in-line* do controle

de qualidade, possibilitando a introdução da automação do processo de fabricação destes materiais, rumo à era 4.0 para a indústria de tintas.

Este estudo teve como objetivo demonstrar o potencial da utilização prática no controle e ajuste destas propriedades através do uso de um inovador equipamento que utiliza a técnica de transmissão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 *TRANSMICELL*

O equipamento utilizado para realizar medições e controle por transmissão em materiais opacos e translúcidos é chamado de *TRANSMICELL*, patente PCT/BR2019/050381, sendo atualmente o único equipamento existente para tal finalidade no mercado. Em suma, o princípio do equipamento consiste em buscar uma condição analítica específica para cada produto, a fim de permitir que um feixe de luz irradie sobre uma quantidade de amostra líquida e o espectro gerado da luz transmitida seja analisado e comparado com um padrão. A partir da quantificação da porção de luz transmitida através do filme da amostra líquida é possível extrair informações ópticas que podem ser usadas para avaliar diferentes propriedades do produto, como a força de tingimento, poder de cobertura, grau de dispersão, transparência e cor, através do espectro de transmissão obtido pelo equipamento. A Figura 5 ilustra o equipamento.

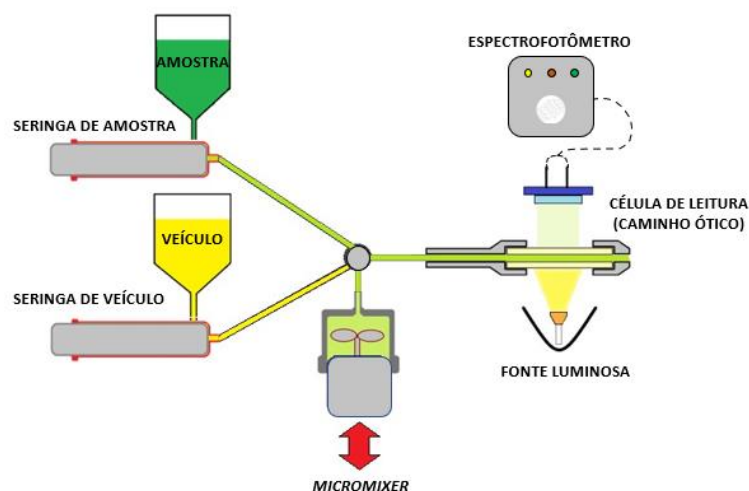
Figura 5 – Equipamento Transmicell V2 – Espectrofotômetro de Transmissão



Fonte: Autores (2023)

Para obter um nível ótimo de interação entre a luz incidente e o filme do material a ser analisado, o equipamento utiliza três graus de liberdade: caminho óptico (espessura do filme), potência luminosa e a diluição analítica realizada automaticamente pelo equipamento no momento da leitura. Seringas de alta precisão são responsáveis por controlar a diluição, uma câmara com agitação mecânica (*micromixer*) é responsável por homogeneizar esta mistura e, por fim, um espectrofotômetro mede a luz transmitida através da amostra em uma célula de leitura composta por janelas de transmissão. Um esquema do sistema de leitura do equipamento é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema de análise no equipamento Transmicell

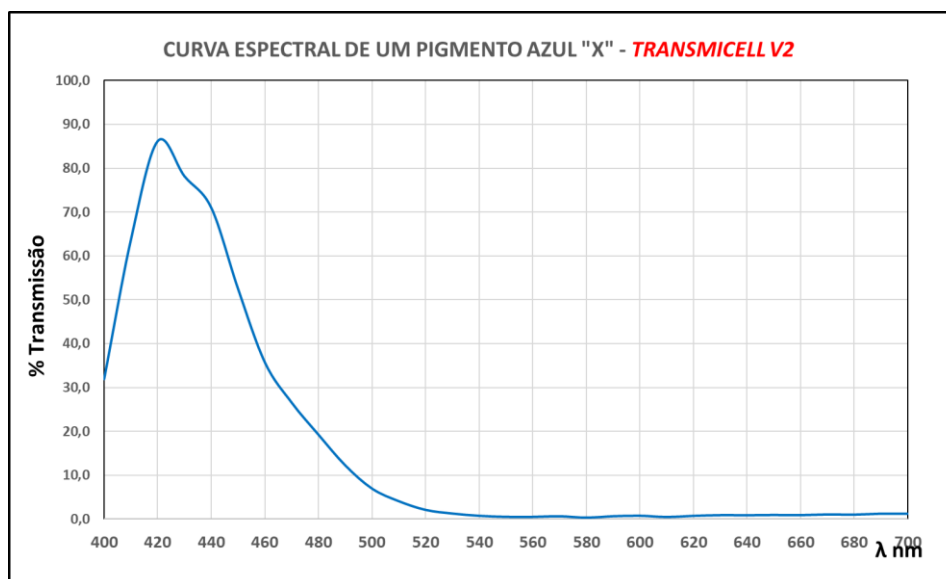


Fonte: Autores (2023)

A diluição analítica é realizada utilizando um veículo analítico transparente e com compatibilidade adequada às dispersões utilizadas, de modo que não produza instabilidades ou interferências na medição. Na maioria das vezes, a própria resina base da formulação de dispersão atua como um veículo analítico, pois garante a estabilidade e compatibilidade com a dispersão que é necessária para o teste.

O resultado da análise, dado por um espectro de transmissão, é o resultado médio de cinco leituras consecutivas realizadas de forma automática pelo equipamento, considerando que a cada leitura todo o processo de dosagem, diluição e mistura são realizados com uma nova porção de amostra e veículo. A Figura 7 apresenta um exemplo de espectro de transmissão.

Figura 7 – Curva de Transmissão de uma dispersão de pigmentos azul



A calibração do espectrofotômetro de transmissão é realizada previamente ao início da rotina de análises, sendo utilizado o veículo analítico como referência para o valor de 100% de transmissão da luz, garantindo assim que quaisquer interações captadas pelo espectrofotômetro provenham apenas da interação entre a amostra do material em análise e a luz incidente.

Ao final de cada análise, a máquina realiza uma limpeza automática para descontaminar todo o sistema de leitura para não haja interferências nas medições subsequentes. Durante a análise de transmissão, ao contrário da técnica convencional, para a análise da força de tingimento, o valor de interesse é a transmitância no comprimento de onda de pico, onde há maior sensibilidade e menor interferência sinal-ruído. No caso da análise para ajustes de cor em sistemas translúcidos (*stains* ou vernizes tingidos), utiliza-se a curva espectral de transmissão e as coordenadas de cor CIELab.

2.2 METODOLOGIA DE CORREÇÃO DE COR EM STAINS

Foi escolhido um determinado tipo de *stain* para a realização deste estudo, sendo para tal, conhecida a sua fórmula completa: composição e percentagem de cada componente. O produto escolhido para estudo é composto pela mistura de tingidores de cor amarelo, vermelho, preto e uma base incolor.

Como escolha do padrão de cor para ajuste foi considerada uma amostra comercial do produto, que teve sua transmissão analisada e suas coordenadas CIELab tomadas como objetivo, sendo referido neste trabalho como “**Tingidor Padrão**”.

Para a simulação do ajuste de cor, uma amostra foi produzida em laboratório seguindo as quantidades de cada colorante individual indicadas pela fórmula do produto, simulando um lote de produção. Este produto será referido neste trabalho como “**Tingidor Laboratório**”.

As divergências entre a amostra comercial e a amostra produzida em laboratório foram analisadas através da espectroscopia de transmissão e o ajuste de cor necessário calculado a partir de um software comercial de formulação e correção de cor¹. Para fins de comparação visual, as amostras analisadas por transmissão foram também aplicadas em cartelas e avaliadas pelo método convencional de reflexão, utilizando o espectrofotômetro *Datacolor Check 3*.

Neste caso, o substrato possui uma grande relevância na medida, e a avaliação tem unicamente como objetivo verificar se os valores mantêm a mesma tendência em ambos os

¹ Software *Datacolor MatchPigment*

métodos. Ressalta-se que, por se tratar de um ajuste de cor, a % Transmissão no pico do espectro não será o foco deste estudo, e sim, o formato (*shape*) da curva e as coordenadas CIELab obtidas por transmissão.

2.2.1 Análise de Transmissão

Inicialmente foram analisados de forma individual todos os componentes da formulação do *stain* em estudo. Para a análise no equipamento *TRANSMICELL*, é necessário que inicialmente seja determinada a condição analítica ideal para avaliar o produto, sendo realizadas iterações de forma automática pela máquina, que encontra os parâmetros otimizados para análise. A condição analítica utilizada para análise dos componentes do tingidor está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições analíticas utilizadas na análise dos componentes do *stain*

Concentração de amostra	8%
Concentração de veículo	92%
GAP (caminho ótico)	200 μ m
Potência Luminosa	100x

Obs.: O veículo analítico utilizado foi uma base incolor, que faz parte da própria fórmula do produto e que não interfere nas coordenadas de cor.

2.2.2 Banco de Dados

Para que fosse possível realizar a correção de cor do *stain*, foi necessário criar um banco de dados incluindo todos os componentes da formulação do tingidor. Desta forma, foram realizadas variações na proporção entre tingidor e base incolor, de modo a criar um gradiente que descreva o comportamento das coordenadas CIELab em relação a essas variações de concentração.

Tendo em vista que todo este estudo foi realizado utilizando dados de Transmissão, a base incolor, nesse caso, acabou se comportando como um colorante branco em sistema convencional de banco de dados colorimétricos para análises e ajustes pelo método de reflexão. Ou seja, o incremento percentual da base incolor em um determinado corte do banco de dados, provoca proporcionalmente um aumento no nível de transmissão. Esta estratégia possibilitou que se utilizasse um software convencional de formulação e ajuste de cor por reflexão para efetuar ajustes por transmissão no referido *stain*.

Cada amostra do banco de dados foi analisada na *TRANSMICELL* e os dados de transmissão em cada comprimento de onda foram registrados. Os dados obtidos foram tratados por um software de formulação e correção de cores², amplamente utilizado pela indústria. As coordenadas CIELab do “Tingidor Padrão”, foram utilizadas como parâmetro para ajuste do “Tingidor Laboratório”.

2.3 METODOLOGIA PARA CONTROLE E AJUSTE DA FORÇA DE TINGIMENTO DE BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO

O paradigma de analisar a transmissão de luz em materiais opacos ou translúcidos envolve compreender que, embora esses materiais não sejam transparentes, a luz pode interagir de maneiras complexas e variadas com eles. A compreensão desses fenômenos ópticos, até então não explorados, é um caminho promissor para otimizar o desempenho de materiais e aprimorar o controle da qualidade.

A análise de bases de pigmentos de efeito através da espectroscopia de transmissão é uma técnica pioneira e muito recente, onde foi estudado o comportamento e estabilidade de bases com diferentes formulações quando submetidas a análises por transmissão. Para o ajuste da força de tingimento nesses produtos, utiliza-se como via de regra o percentual de transmissão no pico da curva espectral, sendo essa a informação que baseia os cálculos para correção da propriedade.

Neste estudo foram escolhidos quatro tipos de bases para avaliação, com diferentes tipos de pigmento de efeito, conforme a Tabela 2.

² Software Datacolor MatchPigment

Tabela 2 – Descrição das amostras de pigmentos de efeito

Amostra	Meio	Pigmento de Efeito
1	Base Solvente	Alumínio X
2	Base Solvente	Alumínios X+Y
3	Base Solvente	Alumínios X+Y + Pérola
4	Base Água	Alumínio Z

Cada uma das quatro amostras analisadas teve formulada duas variantes com pequenas modificações no teor total de pigmento de efeito, uma com maior e outra com menor percentual. Essa metodologia foi realizada a fim de verificar a sensibilidade do equipamento em detectar diferenças de pigmento na fórmula e observar a resposta em transmissão para cada tipo de pigmento.

2.3.1 Determinação da Condição Analítica

Cada amostra interage de maneira única com a luz devido a diversos fatores, sendo o principal deles a diferença entre tipos de pigmentos utilizados em sua formulação. Consequentemente, cada amostra possui a sua condição analítica ideal de maneira a otimizar os ganhos em sensibilidade e garantindo a estabilidade do produto nas condições estabelecidas. Para os testes, foi garantido que as amostras estavam estáveis em sua condição analítica, a curva de transmissão de cada material analisado, o resultado da média de pelo menos cinco leituras consecutivas e que variaram no máximo 0,8% de transmissão entre si.

O veículo analítico utilizado nas análises para amostras base solvente foi uma mistura 1:1 de cera e solvente. Para a amostra base água, utilizou-se um veículo 2:1 de butil glicol em resina compatível.

Na Tabela 3 estão descritas as condições analíticas utilizadas.

Tabela 3 – Condições Analíticas utilizadas

Amostra	Conc. Amostra (%Vol)	Conc. Veículo(%Vol)	Potência Luminosa	GAP
1	25	75	16x	200µm
2	18	82	7x	200µm

3	25	75	16x	200µm
4	25	75	125x	200µm

2.3.2 Gradiente de Concentração

Para avaliar a sensibilidade do equipamento quanto a diferenças na concentração dos pigmentos de efeito foram realizadas diluições em cada uma das amostras, simulando uma possível variação de concentração proveniente do próprio processo produtivo. A partir disso, foi possível construir uma curva de resposta em transmissão relacionada com a concentração do pigmento de efeito em questão.

2.3.3 Cálculo do Ajuste de Força de Tingimento

O cálculo do ajuste da força de tingimento se baseia na curva de resposta obtida a partir da variação de concentração das amostras descrita anteriormente. O comportamento da transmissão pode ser descrito a partir de uma equação de correlação linear ou exponencial, que resulta na quantidade de resina ideal para o ajuste da força de tingimento para o valor do padrão.

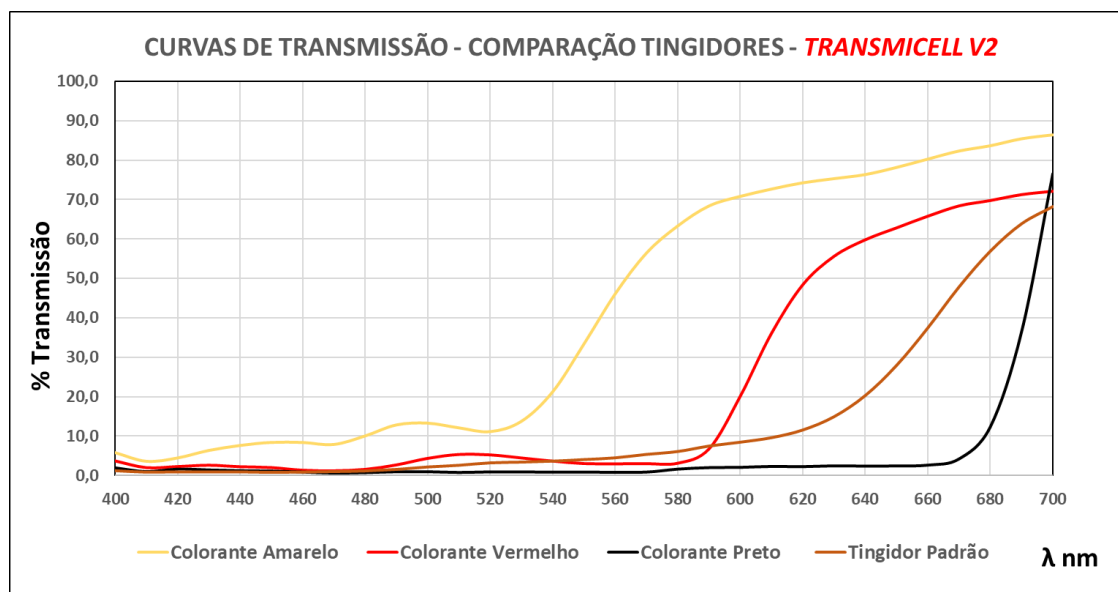
A partir do cálculo do ajuste, é então realizado um teste de bancada e sua transmissão novamente analisada para confirmar a correção. Posteriormente, o ajuste pode ser realizado no lote de produção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 STAINS – TINGIDORES PARA MADEIRA

A primeira etapa do estudo, após definida a condição analítica, foi determinar a curva de transmissão individual de cada colorante que compõe o tingidor. Na Figura 8 estão ilustradas as curvas de transmissão de cada colorante utilizado neste estudo.

Figura 8 – Curvas de Transmissão dos Componentes do Tingidor Padrão



Observam-se diferenças no formato das curvas (*shape*) para cada colorante, tornando nítidas as particularidades de cada um. As informações da curva funcionam como uma espécie de “DNA” da amostra, podendo ser utilizada também como controle de contaminações.

O equipamento entrega também valores das coordenadas CIELab de transmissão, coerentes com as coordenadas obtidas pelo método convencional via reflexão. Vale ressaltar, entretanto que, devido à alta sensibilidade da técnica de transmissão, as diferenças entre produtos são ampliadas e consequentemente os valores de ΔE também serão.

As coordenadas de cor CIELab de cada um dos componentes do *stain* em estudo estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Coordenadas de cor CIELab de Transmissão

Amostra	L	a	b
Tingidor Padrão	28,37	23,29	32,55
Colorante Amarelo	68,40	34,34	59,59
Colorante Vermelho	37,96	48,50	37,66
Colorante Preto	11,38	12,19	2,70

Posteriormente foi analisada na *TRANSMICELL* a amostra “Tingidor Laboratório” simulando o “Tingidor Padrão”, conforme Figura 9.

Figura 9 – Curvas de transmissão do tingidor comercial e do produzido em laboratório

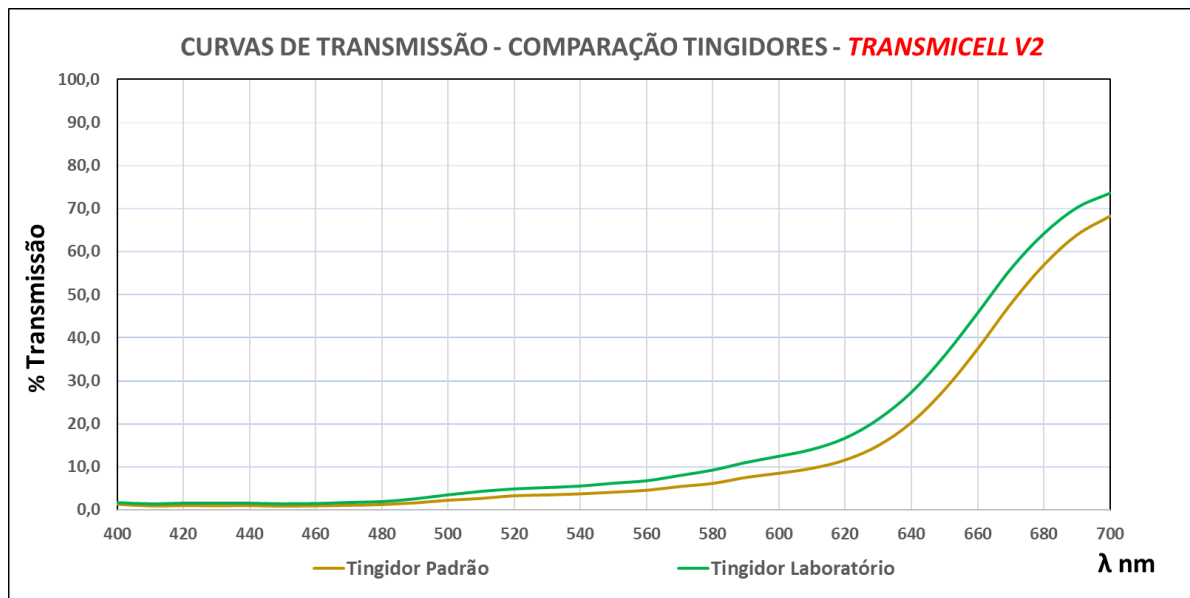


Tabela 5 – Coordenadas de cor CIELab de Transmissão do Tingidor Padrão e Tingidor Laboratório

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Transmissão}}$
Tingidor Padrão	28,37	23,29	32,55				
Tingidor Laboratório	34,04	24,09	22,70	5,67	0,80	-9,85	11,39

O fato da amostra “Tingidor Laboratório” não apresentar a mesma curva espectral em transmissão quando comparado ao padrão, pode ser atribuído às variações individuais da força

de tingimento dos corantes que compõe a fórmula deste *stain*. Neste caso, se os colorantes que compõe a fórmula do *stain* tivessem as suas forças de tingimento controladas individualmente através do método de transmissão, muito provavelmente o “Tingidor Laboratório” não necessitaria de nenhuma correção, visto que o controle rígido da força de tingimento através de uma técnica de alta sensibilidade, como a transmissão, reduziria em até 90% os ajustes, de acordo com estudo anterior (RMA Tech, 2023).

As amostras foram também aplicadas em uma cartela para visualização à seco, tendo sido realizadas leituras das coordenadas CIELab por reflexão, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Extensão em cartela do Tingidor Padrão e Tingidor Laboratório



Tabela 6 – Coordenadas de cor CIELab de Reflexão do Tingidor Padrão e Tingidor Laboratório

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Reflexão}}$
Tingidor Padrão	38,67	2,86	2,52	0,75	0,52	0,60	1,09
Tingidor Laboratório	39,42	3,38	3,12				

Em todas as etapas de ajuste por transmissão, em paralelo foram aplicadas em cartelas de teste a amostra do Tingidor Padrão e ao lado o ajuste em questão, sendo a cada aplicação novamente medidas as coordenadas colorimétricas de ambos, a fim de minimizar as influências das etapas manuais e do substrato. Devido a isso, pode haver alguma variação entre as

coordenadas lidas por reflexão para o Tingidor Padrão, o que demonstra também a baixa repetibilidade e reprodutibilidade do método a seco.

De fato, a amostra “Tingidor Laboratório”, com esta diferença de cor $\Delta E_{\text{reflexão}} = 1,09$ a seco estaria reprovada no controle de qualidade, além de visualmente apresentar diferenças na tonalidade. Diante disso, foi utilizado o software de correção de cor³ para calcular um ajuste, conforme sugere a Tabela 7.

Tabela 7 – Ajuste #1 sugerido pelo software de colorimetria

Colorante	Fórmula Original (%)	Fórmula Ajustada #1 (%)
Amarelo	11,80	17,28
Vermelho	6,50	5,08
Preto	10,15	12,68
Base Transparente	71,55	64,96
Total	100,00	100,00

Este ajuste foi preparado e as coordenadas CIELab novamente avaliadas na *TRANSMICELL*, bem como por extensão em cartela, conforme as Figuras 11 e 12 e Tabelas 8 e 9 a seguir.

³ Software Datacolor MatchPigment

Figura 11 – Curva de Transmissão do Tingidor Padrão e o Ajuste #1

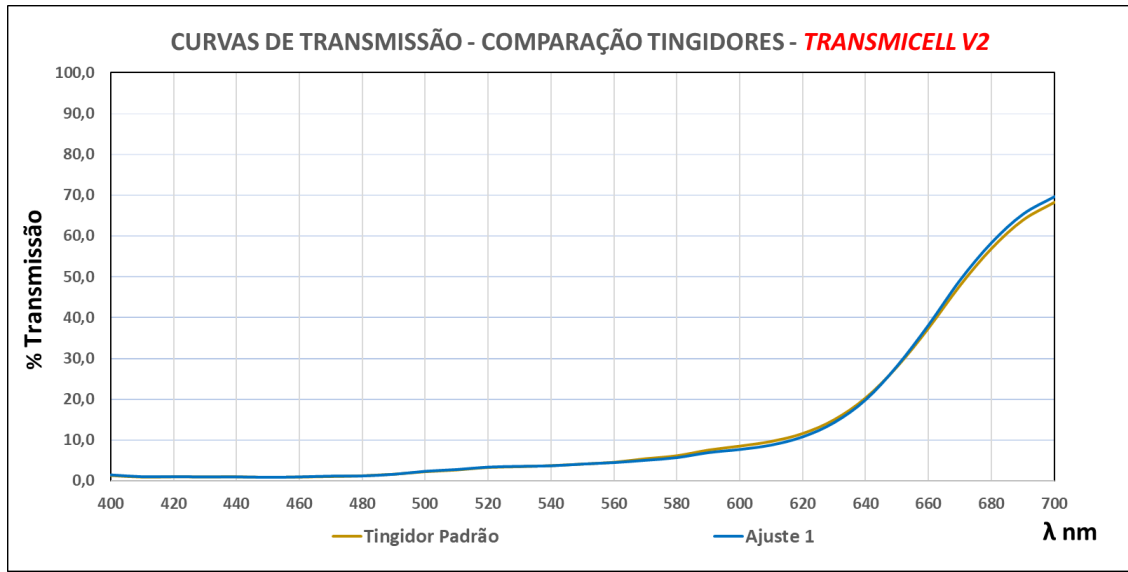


Tabela 8 - Coordenadas de cor CIELab de Transmissão do Ajuste #1

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Transmissão}}$
Tingidor Padrão	28,37	23,29	32,55				
Ajuste 1	27,72	22,48	31,94	-0,65	-0,81	-0,61	1,20

Figura 12 – Extensão em cartela do Tingidor Padrão e Ajuste #1



Tabela 9 - Coordenadas de cor CIELab de Reflexão do Ajuste #1

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Reflexão}}$
Tingidor Padrão	41,17	2,80	2,59				
Ajuste 1	40,99	2,38	2,56	-0,18	-0,42	-0,03	0,46

Uma significativa melhora na cor foi observada, reduzindo o $\Delta E_{\text{transmissão}}$ de 11,39 para 1,20, e da mesma forma, uma redução de $\Delta E_{\text{reflexão}}$ de 1,09 para 0,46. Em ambos os métodos, as coordenadas mostraram um ajuste mais escuro (menor L), mais esverdeado (menor a) e mais azulado (menor b).

Apesar do resultado do $\Delta E_{\text{reflexão}}$ já estar dentro do limite de aprovação a seco usual para este tipo de produto, que geralmente é $\Delta E_{\text{reflexão}} = 0,5$, um segundo ajuste foi testado a fim de tornar o acerto da cor ainda mais próximo das coordenadas CIELab do padrão. A correção realizada consta na Tabela 10.

Tabela 10 – Ajuste #2 sugerido pelo software de colorimetria

Colorante	Fórmula Original (%)	Fórmula Ajustada #2 (%)
Amarelo	11,80	17,36
Vermelho	6,50	4,94
Preto	10,15	12,37
Base Transparente	71,55	65,33
Total	100,00	100,00

Figura 13 – Curva de Transmissão do Tingidor Padrão e o Ajuste #2

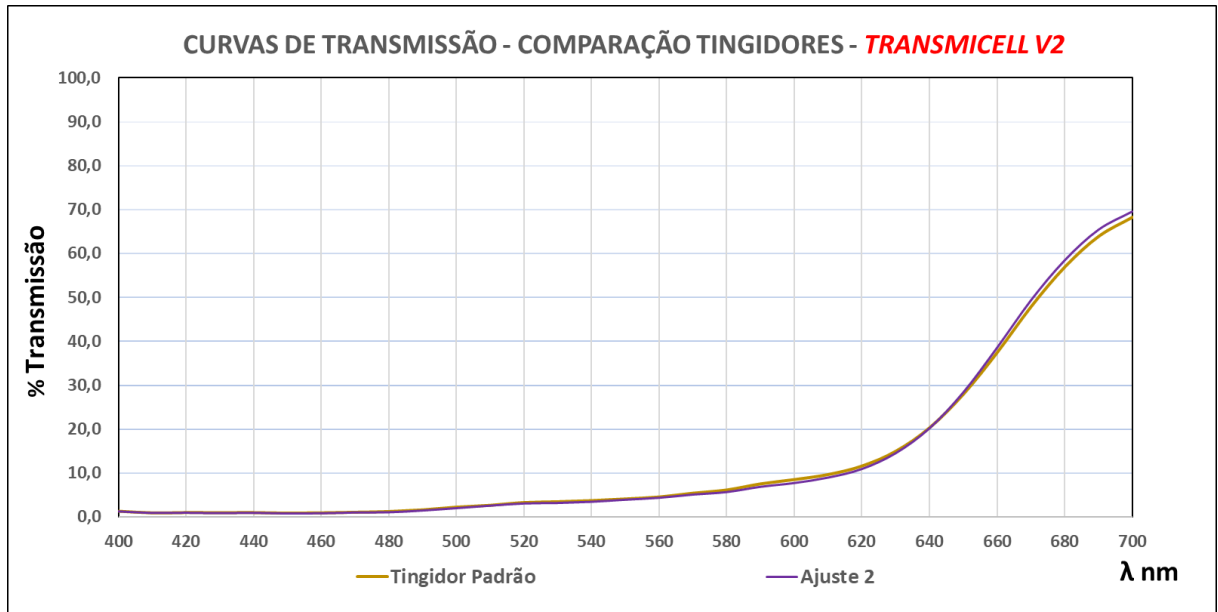


Tabela 11 - Coordenadas de cor CIELab de Transmissão do Ajuste #2

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Transmissão}}$
Tingidor Padrão	28,37	23,29	32,55				
Ajuste 2	27,56	23,60	32,24	-0,81	0,31	-0,31	0,92

Figura 14 – Extensão em cartela do Tingidor Padrão e Ajuste #2

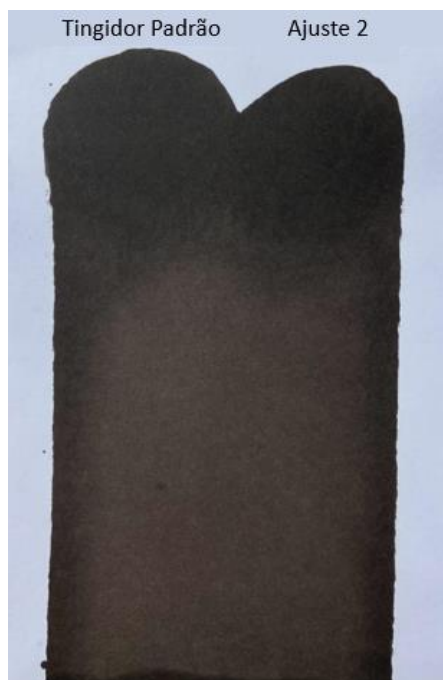


Tabela 12 – Coordenadas de cor CIELab de Reflexão do Ajuste #2

Amostra	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E_{\text{Reflexão}}$
Tingidor Padrão	37,37	2,73	2,33				
Ajuste 2	36,99	2,58	2,24	-0,38	-0,15	-0,09	0,42

Um excelente resultado foi atingido com este segundo ajuste, onde as coordenadas de cor CIELab se tornaram ainda mais próximas dos valores desejados, principalmente em transmissão, resultando num $\Delta E_{\text{Transmissão}} = 0,92$ e $\Delta E_{\text{Reflexão}} = 0,42$, comprovando a eficácia do método.

Enquanto normalmente são realizados de quatro a seis ajustes (ou toques) na cor desse tipo de tingidor, uma redução para dois toques é considerada excelente. Tendo em vista que, caso seja aprimorado o banco de dados colorimétrico utilizado no software de colorimetria, o número de toques necessários muito provavelmente seria reduzido para apenas um, reduzindo-se de forma expressiva o tempo de ciclo de ajuste de cor em ambiente produtivo.

3.2 BASES DE PIGMENTOS DE EFEITO – ALUMÍNIO E PÉROLA

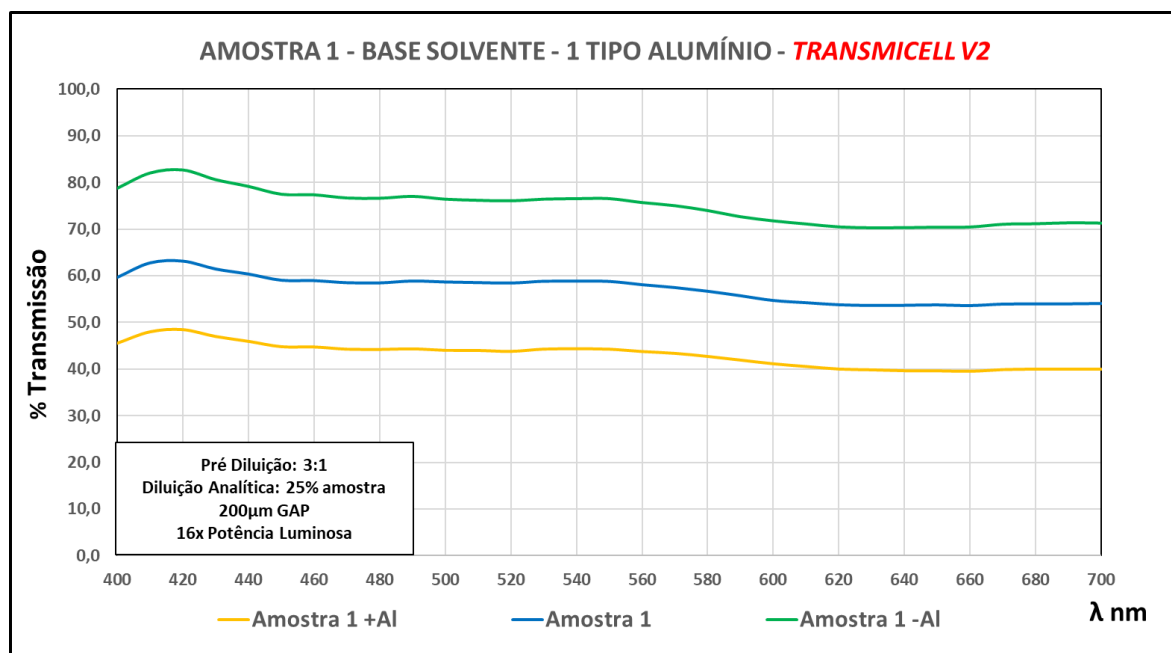
3.2.1 Amostra 1

Nos testes iniciais das bases de pigmentos de efeito, tendo em vista as complexas características morfológicas das partículas do material em estudo, acreditava-se que a estabilidade entre leituras seria um grande obstáculo técnico a ser vencido, entretanto, surpreendentemente obteve-se uma excepcional estabilidade entre leituras.

Outro ponto importante a ressaltar, além da estabilidade de medidas já comentada, foi a elevada sensibilidade deste tipo de material às variações de teor de pigmento de efeito, superiores, inclusive, a uma grande gama de dispersões de pigmentos opacos.

Cada curva da Figura 15 representa a média de cinco leituras consecutivas, que garantem a estabilidade da medição. A amostra de maior concentração teve um acréscimo de 4,55% em massa de alumínio, enquanto a outra teve uma redução de 5,92% em massa.

Figura 15 – Curva de Transmissão da Amostra 1 e suas variações de teor de alumínio



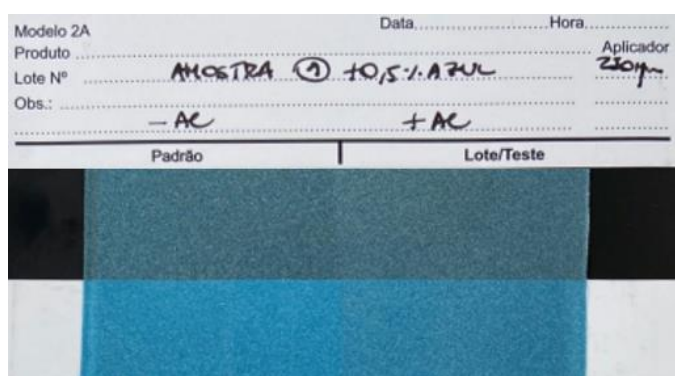
Observa-se que o formato (*shape*) da curva se mantém o mesmo, diferenciando apenas no nível de transmissão de cada uma das amostras, de acordo com a percentagem de pigmento de efeito na fórmula.

A amostra que houve acréscimo de alumínio (curva amarela) obteve uma transmissão menor, resultado coerente com o esperado. Da mesma forma, a amostra que houve uma redução

de alumínio na formulação (curva verde) apresentou uma maior transmissão, ou seja, permitiu mais a passagem da luz. Essa análise também se traduz na medida da força de tingimento de cada uma das amostras, que por sua vez, também está relacionada com a concentração de alumínio.

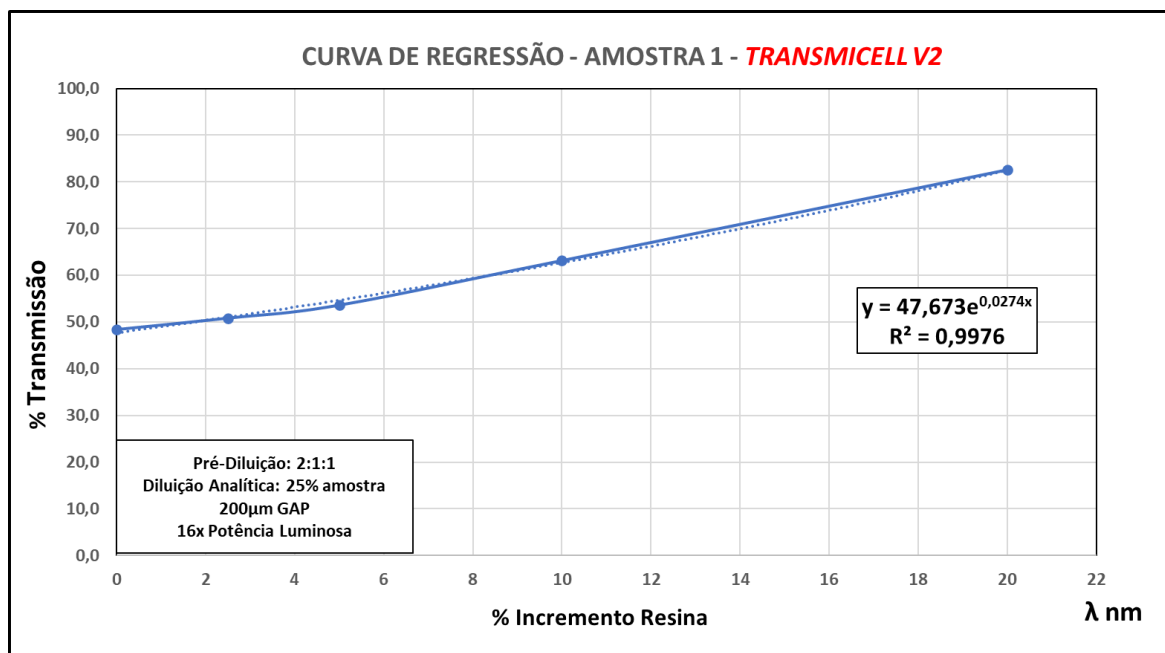
Foram aplicadas em uma cartela as amostras com os extremos em teor de alumínio, a fim de verificar a variação da força de tingimento destas. Para possibilitar a melhor visualização das diferenças entre as amostras, foi misturado 0,5% de um tingimento azul, tornando perceptível as diferenças em força de tingimento de cada uma delas. A Figura 16 demonstra a aplicação de ambas as amostras. A amostra com mais alumínio (à direita) possui uma maior força de tingimento e por isso, um tom azul menos vivo e mais escuro pode ser observado. Por outro lado, percebe-se que a amostra de menor concentração de alumínio (à esquerda) foi mais tingida pelo pigmento azul, indicando a sua menor força de tingimento.

Figura 16 – Aplicação em cartela dos extremos em alumínio da Amostra 1



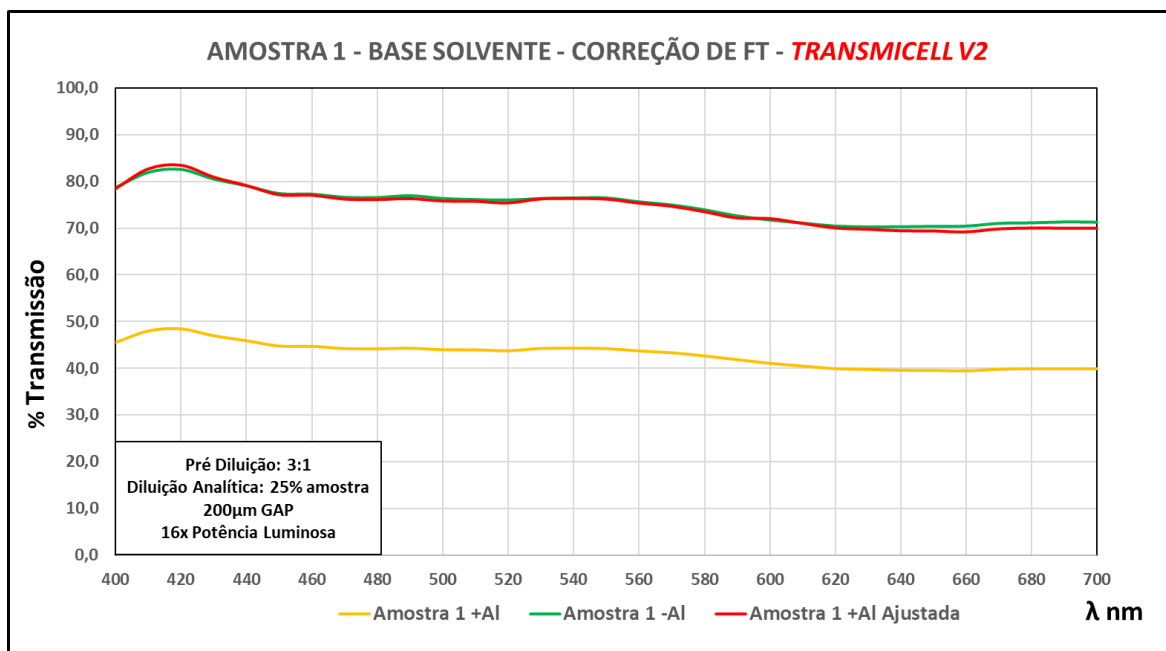
Para possibilitar o ajuste da força de tingimento desta amostra, foi então obtida a curva de resposta de diluição com resina da Amostra 1 em relação a transmissão, sendo possível desta forma, calcular o ajuste da força de tingimento a partir da equação correspondente, conforme Figura 17.

Figura 17 – Curva de resposta da Amostra 1 em relação à adição de resina



A amostra de maior concentração de alumínio foi então corrigida com o objetivo de atingir o padrão de transmissão da amostra de menor concentração. Para tal, foram considerados os valores de transmissão no pico do espectro e aplicados na equação da curva de resposta. Desta forma o ajuste foi realizado e confirmado na Transmicell, sendo a correção chamada de “Amostra 1 + Alumínio Ajustada”. Para este ajuste foi utilizado um incremento de aproximadamente 20% em resina para igualar sua força de tingimento ao da “Amostra 1 – Alumínio”, conforme curvas ilustradas na Figura 18.

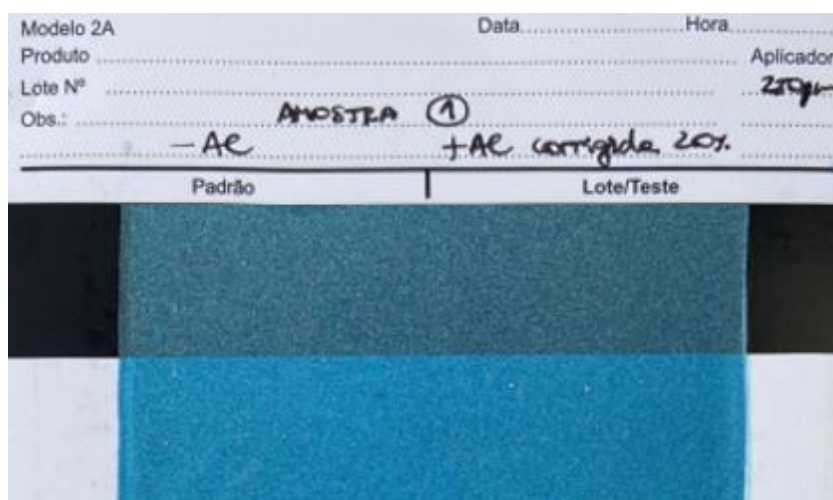
Figura 18 – Ajuste da Força de Tingimento da Amostra 1



Observa-se que o ajuste (curva vermelha) atingiu o nível de transmissão da amostra dada como alvo (curva verde) conforme esperado e, portanto, indica que o ajuste da força de tingimento foi realizado com êxito.

Para demonstrar visualmente o ajuste, foram aplicadas em cartela, com adição de 0,5% de tingimento azul, a amostra que recebeu a correção e ao lado a amostra padrão, conforme Figura 19. Verifica-se que não existem diferenças perceptíveis entre as amostras, comprovando visualmente o resultado também demonstrado através da curva de transmissão.

Figura 19 – Ajuste da Força de Tingimento da Amostra 1



Para fins informativos, as coordenadas CIELab foram medidas por reflexão utilizando o espectrofotômetro *Datacolor Check 3*, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Coordenadas CIELab de Reflexão da Amostra 1

Amostra	L	a	b	$\Delta E_{\text{Reflexão}}$
Amostra 1 -Al	59,57	-14,20	-16,95	Referência
Amostra 1 +Al	59,89	-12,56	-15,00	2,56
Amostra 1 +Al Ajustada	59,65	-13,88	-16,95	0,32

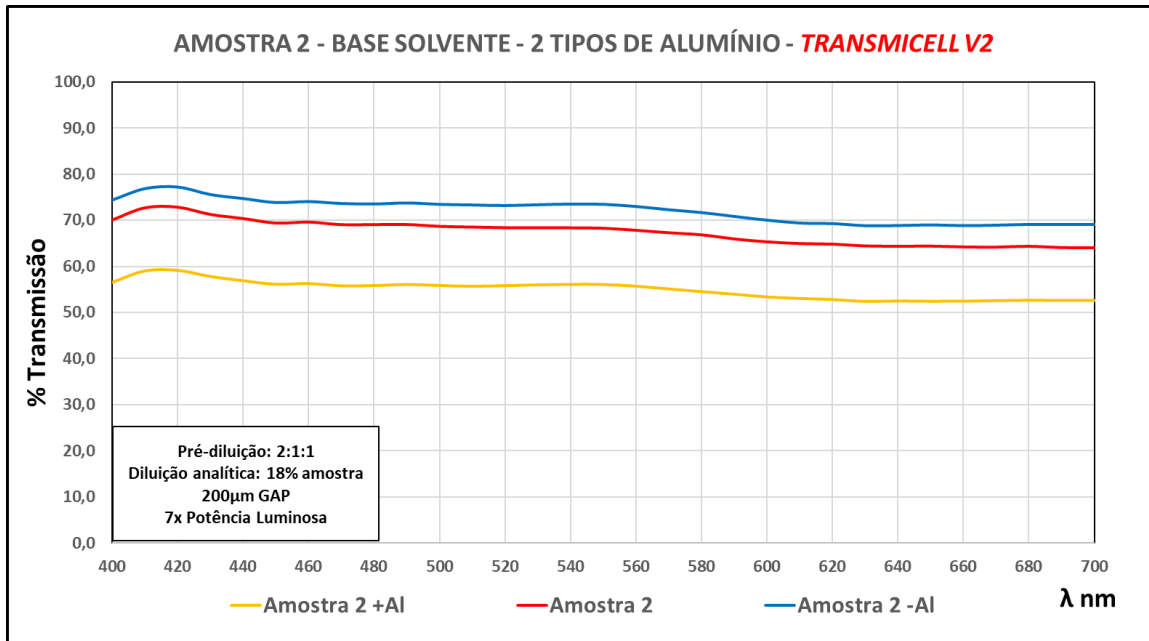
Fica demonstrado desta forma o êxito do ajuste realizado através da análise de transmissão, comprovado ainda por reflexão e também na avaliação visual das amostras. O grande benefício da técnica quanto ao ajuste da força de tingimento de bases metálicas é que, quando misturada a colorantes também ajustados via transmissão, a cor final muito provavelmente não necessitará de qualquer ajuste para atingir o padrão colorimétrico.

A mesma metodologia de ajuste aplicada a Amostra 1 é válida para as outras amostras deste trabalho. Neste estudo só serão apresentados os resultados para esta primeira amostra, ficando o restante para trabalhos posteriores.

3.2.2 Amostra 2

A Amostra 2, que contém dois tipos diferentes de alumínio em sua formulação, foi testada na Transmicell, conforme Figura 20. Observa-se que o *shape* da curva segue um comportamento semelhante ao da Amostra 1, que se assemelha a curva de reflexão da cor branca. De forma geral, o comportamento de alumínio possui essa característica, visto que, assim como um pigmento branco, sua influência está no eixo de cor “L” (luminosidade), causando este efeito na curva de transmissão.

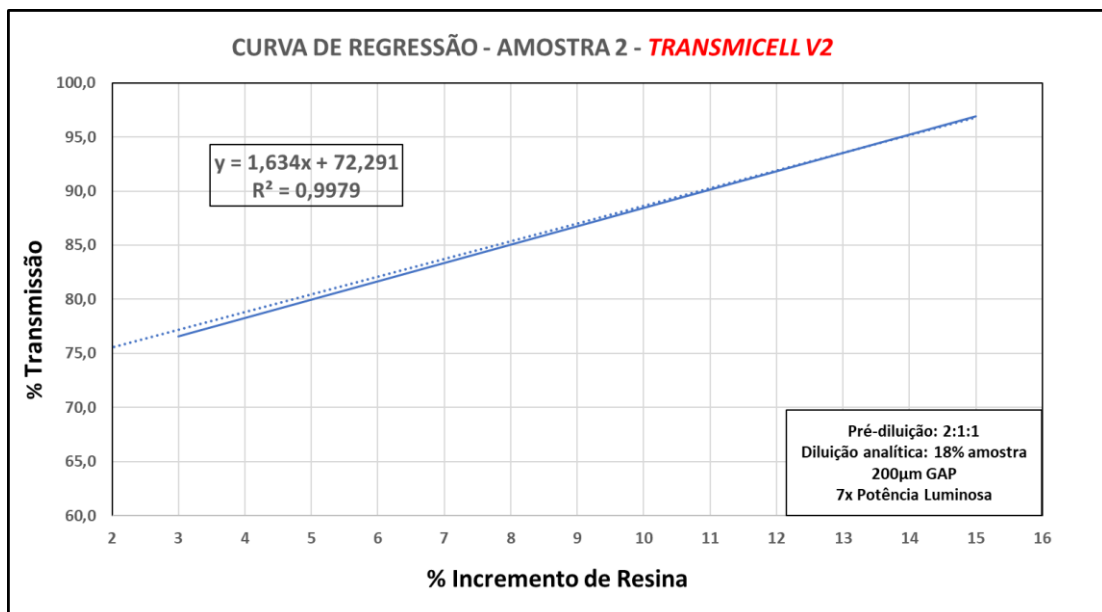
Figura 20 - Curva de Transmissão da Amostra 2 e suas variantes



A variante da Amostra 2 com maior concentração de alumínio recebeu um incremento de 2,3% em massa de pigmento de efeito, enquanto a outra teve o teor de alumínio reduzido em 1,9%.

A curva de regressão da Amostra 2 teve um comportamento mais próximo da linearidade, o que significa que nesse caso existe uma proporcionalidade entre a concentração de alumínio na fórmula e a resposta em transmissão, conforme Figura 21.

Figura 21 - Curva de resposta da Amostra 2 em relação à adição de resina

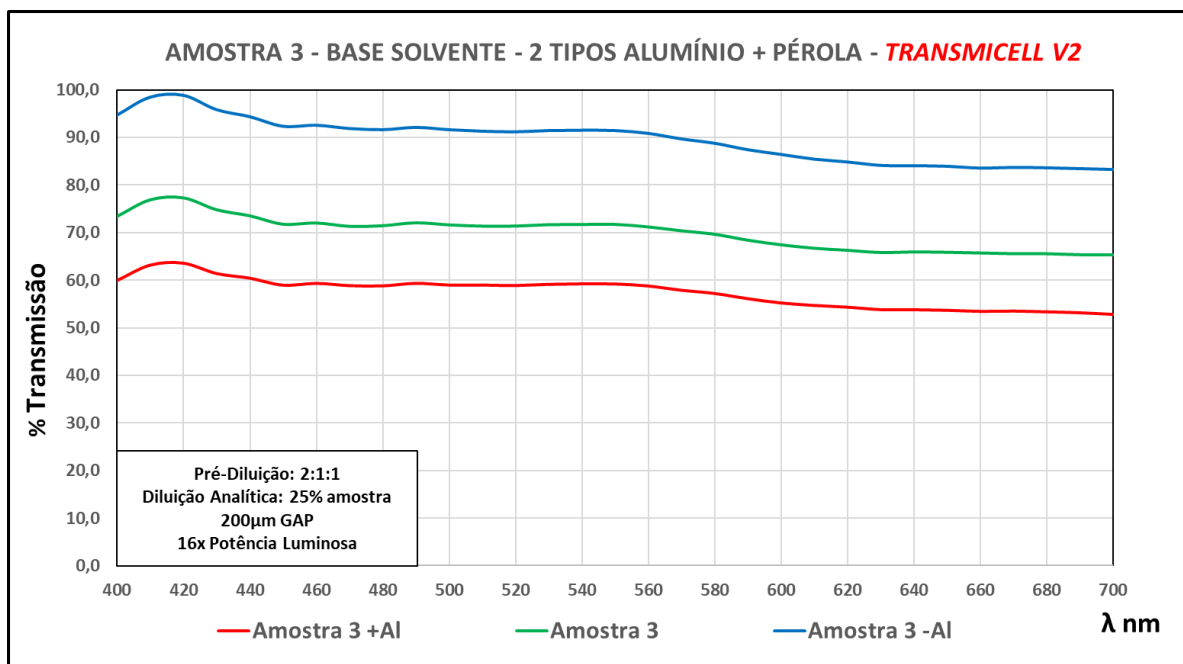


Da mesma forma, um possível ajuste pode ser calculado a partir da equação que descreve o comportamento da concentração de pigmentos em relação à transmissão. Neste caso, observa-se uma tendência linear no comportamento da amostra formada por estes dois tipos distintos de alumínios. Pode-se concluir que a cada 1% de incremento em resina, a transmissão da amostra aumenta 1,63 pontos percentuais.

3.2.3 Amostra 3

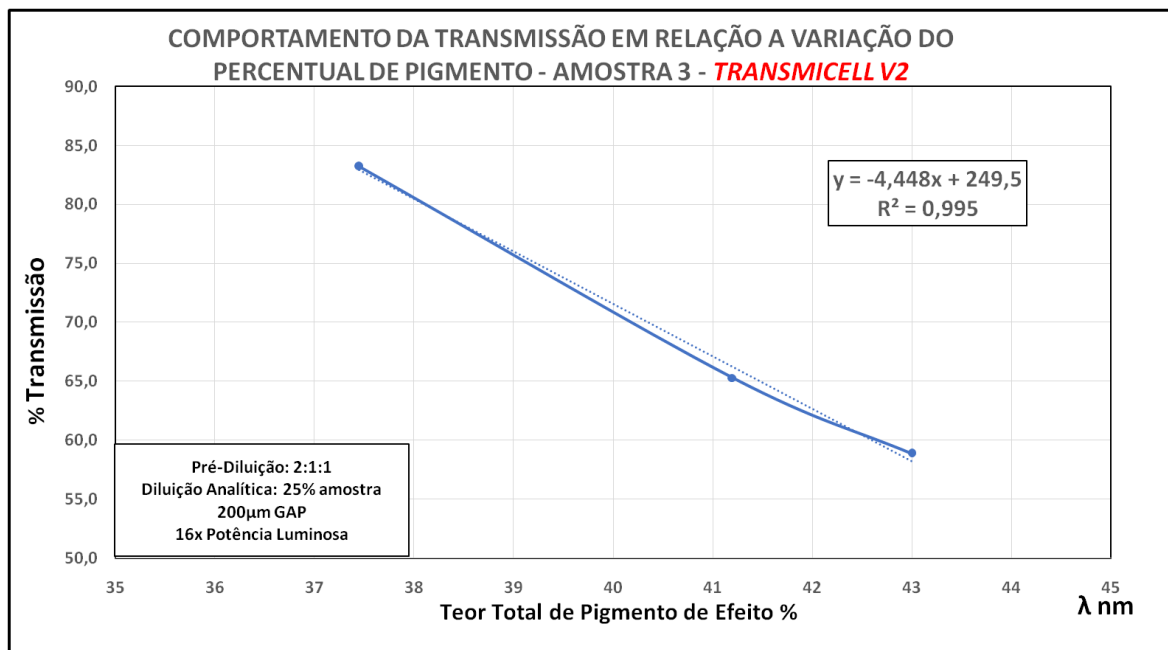
A Figura 22 mostra os resultados da Amostra 3 e suas variantes. Esta amostra contém, além de dois tipos de alumínio, um tipo de pérola em sua composição. A amostra com maior concentração recebeu um acréscimo total de 1,8% em massa de pigmento de efeito, enquanto a outra teve uma redução de 3,75%.

Figura 22 - Curva de Transmissão da Amostra 3 e suas variantes



Para esta amostra, a resposta em transmissão em relação à variação do percentual total de pigmentos de efeito foi avaliada, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Comportamento de Transmissão em relação a variação de pigmentos de efeito da Amostra 3

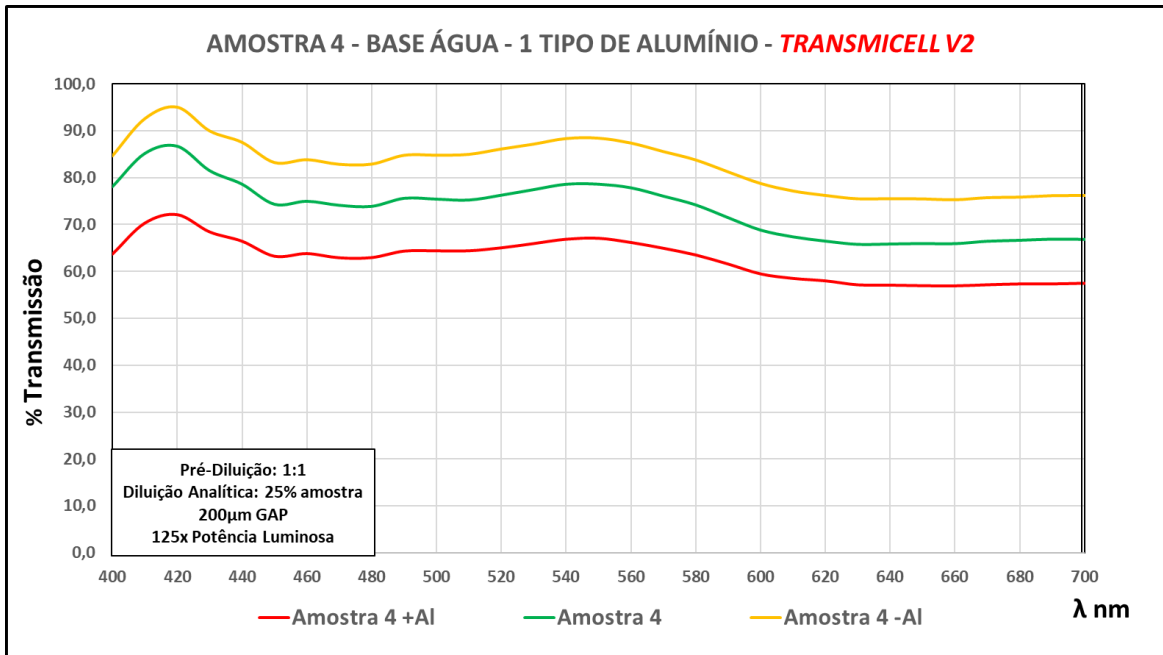


Neste caso, a criação da curva de regressão com adição de resina seria necessária para o cálculo de um ajuste da força de tingimento. Observa-se que a cada 1% de adição de pigmento de efeito na amostra, a transmissão é reduzida em aproximadamente 4,5%.

3.2.4 Amostra 4

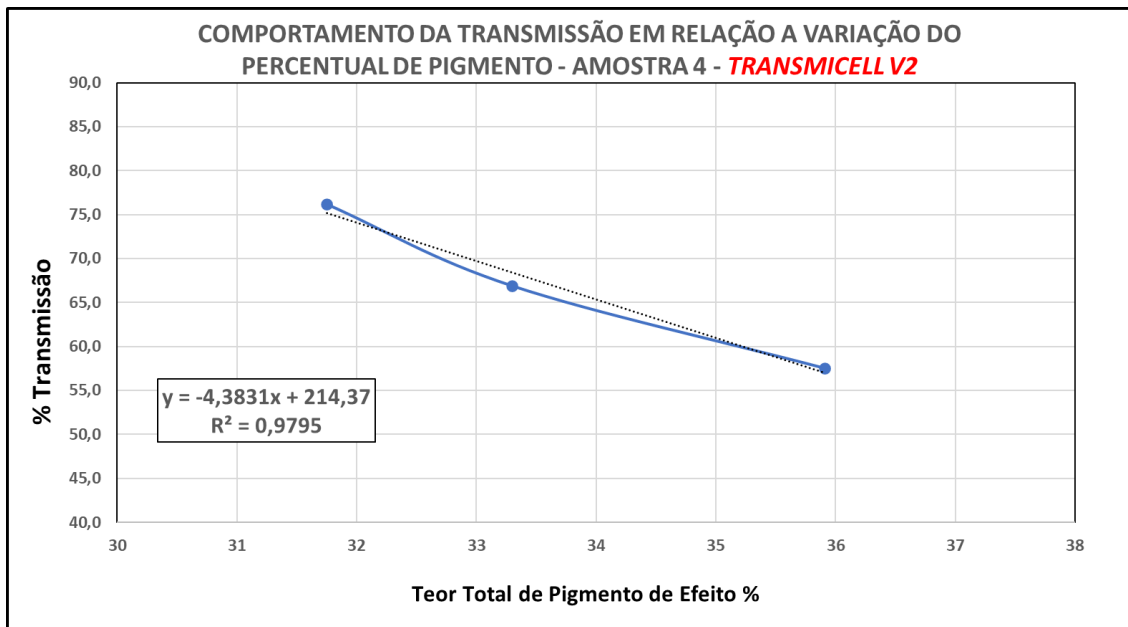
A Amostra 4, base água, é composta por um tipo de alumínio e a sua análise segue representada na Figura 24. A variante de maior concentração possui 2,61% a mais de alumínio na sua formulação, enquanto a de menor concentração teve uma redução de 1,55%.

Figura 24 - Curva de Transmissão da Amostra 4 e suas variantes



O comportamento da transmissão em relação ao teor total de alumínio está descrito na Figura 25. Pode-se concluir que a cada 1% a mais de pigmento de efeito na amostra, a transmissão é reduzida em 4,4 pontos percentuais, resultado semelhante ao da Amostra 3.

Figura 25 - Curva de resposta da Amostra 4 em relação à quantidade de pigmento

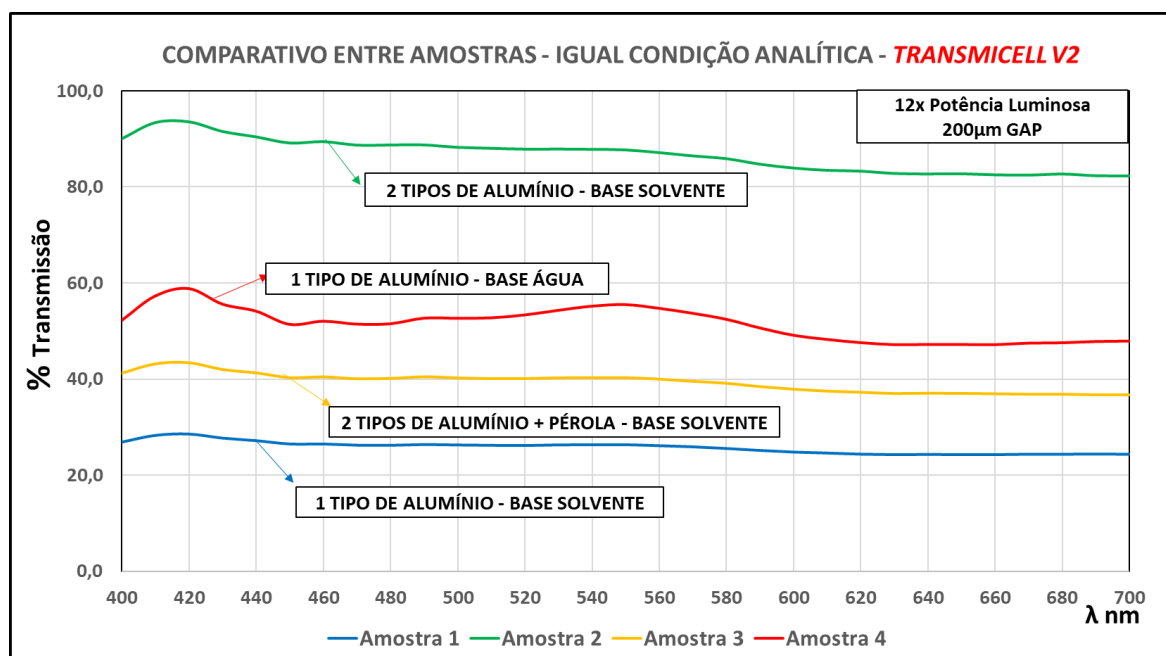


3.2.5 Estudos Adicionais

Uma outra forma de explorar o uso da técnica de transmissão é utilizá-la para detectar diferentes tipos de alumínio, fórmulas ou até mesmo possíveis contaminações. A Figura 26 demonstra as diferenças entre cada amostra analisada, caso fosse utilizada uma mesma condição analítica para todas as amostras (sem levar em consideração o percentual ideal de transmissão no pico), utilizando uma potência luminosa de 12x.

Nesse caso, através do *shape*, é possível distinguir cada formulação e tirar algumas conclusões a respeito de seus componentes.

Figura 26 – Comparativo entre amostras em mesma condição de potência luminosa



Sabe-se que os dois tipos de alumínio contidos nas Amostras 2 e 3 são os mesmos e em quantidades muito semelhantes, sendo, portanto, o efeito da adição da pérola responsável pela grande diferença entre as duas curvas de transmissão observadas.

A partir deste pioneiro estudo, que utilizou a análise de transmissão da luz em bases de pigmentos de efeito, foi constatada coerência entre todos os testes realizados, bem como a estabilidade e sensibilidade do método. As aplicações desta técnica para controle destas bases de pigmentos de efeito são inúmeras e ainda existem muitas possibilidades de estudo das influências e efeitos na transmissão em relação ao tamanho de partícula, sua morfologia, concentração e interação com outros pigmentos que são utilizados na formulação de cores de efeito.

4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

O método de transmissão, além das aplicações já demonstradas em trabalhos anteriores para o controle a úmido da força de tingimento de dispersões de pigmentos e cobertura em tintas decorativas, demonstrou outro campo de aplicação importante, desta vez sendo utilizado para controle de sistemas translúcidos e pigmentos de efeito.

Foi possível detectar com alta sensibilidade e estabilidade as propriedades óticas de *stains* e também de força de tingimento de bases metálicas e perolizadas, com resultados coerentes e comprovadamente superiores aos sistemas atuais de controle.

A acurácia desta nova tecnologia, como comprovado por estudos de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) do equipamento utilizado, garante vantagens significativas, tais como: a redução do *lead time* do processo e custos variáveis, a minimização do retrabalho e do custo operacional, além do aumento da produtividade e da garantia de qualidade lote a lote.

O uso da tecnologia aplicado a *stains* possibilita a implantação de um sistema de ajuste inédito rápido e preciso para correção, tanto da força de tingimento para os colorantes de forma individual, como para o ajuste da tonalidade e transparência de *stains* formulados a partir destes. Para este tipo de produto, esta solução é inédita mundialmente, permitindo o ajuste digital e sem interferência humana.

O controle das bases de efeito utilizando esta tecnologia possibilita o foco no controle de qualidade na fonte e na prevenção do retrabalho, ao invés de realizar o controle de qualidade no final do processo, permitindo o ajuste eficaz da força de tingimento das bases de efeito antes da mistura para o produto final, evitando correções de cor. Isso não apenas economiza recursos e tempo, mas também garante uma consistência de qualidade ao longo do tempo, tornando esta tecnologia uma ferramenta essencial para as empresas que buscam alcançar um desempenho ótimo em seus processos de produção e garantir a satisfação de seus clientes.

A partir dos resultados apresentados, espera-se que a indústria de tintas tenha condições de dar um passo em direção a era 4.0, automatizando e aprimorando cada vez mais os seus processos ao adotar uma tecnologia como a espectroscopia de transmissão, tornando o processo de produção desta indústria com alta capacidade desde o projeto. Um novo patamar de competitividade e produtividade pode ser atingido e a implementação do método apresentado neste trabalho representa um passo significativo na busca por esses objetivos.

São planejados novos estudos utilizando esta tecnologia, explorando novas possibilidades e aplicações. Pretende-se analisar diferentes tipos e combinações de pigmentos de efeito, suas interações com novas resinas e outros tipos de pigmentos, bem como aprimorar bancos de dados utilizados para correção de cor de tingidores para madeira (*stains*).

5 REFERÊNCIAS

DATACOLOR. **LIBRO 4: PRINCÍPIOS DE GERENCIAMENTO DE CORES**. Distâncias de cores, metamerismo e equações práticas de cores. 2019. Disponível em: <<https://www.datacolor.com/wp-content/uploads/2022/06/color-management-ebook-4-pt.pdf>>. Acesso em: 28/09/2023.

FIOROTTO, Nilson Roberto. **ENTENDENDO O ESPAÇO DE COR L*A*B***. Instituto SENAI de Tecnologia Têxtil, Moda e Confecção. Disponível em: <https://textil.sp.senai.br/5287/entendendo-o-espaco-de-cor-l-a-b#:~:text=O%20espa%C3%A7o%20de%20cor%20L*a*b*%2C%20tamb%C3%A9m,cor%20com%20a%20percep%C3%A7%C3%A3o%20visual>. Acesso em: 01/10/2023.

MOUW, Tim. X-Rite. **Tolerância parte 3: Espaço de cor vs. Tolerância de cores**. 2018. Disponível em: <<https://www.xrite.com/pt-pt/blog/tolerancing-part-3>>. Acesso em: 28/09/2023.

NUNES, Ana Camila Nobre Xavier. **INFORMAÇÃO ATRAVÉS DA COR - A Construção Simbólica Psicodinâmica das Cores na Concepção do Produto**. ModaPalavra E-periódico. Ano 6, n.9, pp. 63 – 72. 2012.

RMA Tech. **Uso de equipamento específico que utiliza a técnica de Transmissão de Luz para ajustar a Força de Tingimento em dispersões de pigmentos e sua influência na variabilidade da cor final através da medição das coordenadas do CIELAB**. 2023. Disponível em: < <https://rmatech.com.br/wp-content/uploads/2023/10/European-Coatings-Final-Version-2.pdf>>. Acesso em: 20/07/2023.