

## Substituição parcial de nitrocelulose por resinas poliuretânicas em concentrados de tintas flexográficas.

Leonardo Deolindo Apolinário<sup>1</sup>, Maykon Carginin<sup>2</sup>

**Resumo** A base dos concentrados utilizados em tintas flexográficas atualmente é composta pela resina de nitrocelulose. O sistema é utilizado pela capacidade da resina em umectar as partículas de pigmentos, aumentando a eficiência do processo de dispersão e moagem do produto. Em contrapartida, a composição demanda a incorporação de uma resina secundária para a obtenção das propriedades físico-químicas desejadas. Tendo em vista as limitações advindas da resina de nitrocelulose e do constante avanço tecnológico na área de polímeros, o presente trabalho apresenta a proposta de substituição parcial de nitrocelulose por uma resina poliuretânica elastomérica nos concentrados, tendo como principal objetivo o aumento da força de laminação da tinta. Utilizou-se da técnica de planejamento estatístico de misturas para o desenvolvimento das formulações, onde foi avaliada a influência dos compostos químicos nas propriedades da tinta. Cada resposta foi utilizada para a obtenção de uma fórmula otimizada. Os resultados do trabalho apontam que a substituição da nitrocelulose pelo poliuretano pode ser uma alternativa para o aumento da resistência à delaminação da mesma, utilizando apenas uma resina. O sistema constituído parcialmente por poliuretano apresentou resultados de força de laminação até 3 (três) vezes superior ao sistema base nitrocelulose convencional, alcançando 303,77gF no comparativo. Propriedades primárias como viscosidade, brilho, força de cobertura, adesão e fricção não foram comprometidas a partir da alteração, possibilitando a continuação do projeto a partir da necessidade de correção das resistências químicas da tinta.

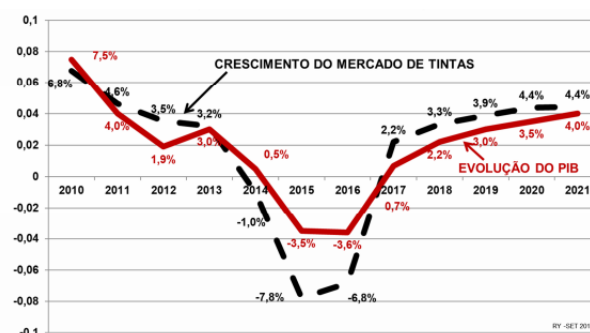
**Palavras-chave** Nitrocelulose, Resinas Poliuretânicas, Tintas Flexográficas, Planejamento Estatístico de Misturas.

✉ <sup>1</sup>leo-apolinario@hotmail.com

✉ <sup>2</sup>maykon.carginin@gmail.com

### 1. Introdução

A indústria de tintas no Brasil vem se consolidando no mercado mundial, ocupando a quarta posição global em produção de tintas [1]. Segundo a ABRAFATI (2017), em 2016 o mercado de tintas brasileiro atingiu R\$ 11,835 bilhões [2]. As projeções para o crescimento do mercado de tintas nos próximos anos são no mínimo satisfatórias. Com a não acentuação do desemprego e a queda da inflação, a conclusão que se tem é que não faltará capacidade de produção para se atingir os níveis de crescimento projetados [3], onde se espera um avanço em aproximadamente 1% acima do PIB. Por outro lado, este crescimento é estabelecido como uma recuperação do setor, onde desde 2013 a expansão do ramo tinteiro se encontrava inferior ao PIB, como mostra a Figura 1 [3].



**Figura 1.** Crescimento do PIB e do mercado de tintas no Brasil.

A técnica de impressão flexográfica é um exemplo de impressão direta convexa, indispensável para a transferência de tinta em filmes flexíveis [4]. Atualmente é o ramo mais inovador da indústria de impressão, devendo-se à possibilidade de difundir esta técnica para imprimir em diversos tipos de substratos, como polietileno, polipropileno, PVC, PET, entre outros [5]. As tintas de impressão são formuladas para processos de impressão individuais, portanto, a tinta flexográfica é produzida com uma reologia que permita que a tinta entre na célula do anilox, transfira para a placa de impressão (clichê), e da placa ao substrato [6], em processo contínuo.

As principais etapas de produção para este tipo de tinta são: dosagem, onde as matérias primas são adicionadas a um tanque na ordem indicada pela

formulação [7]; homogeneização ou pré-dispersão, que consiste em separar os aglomerados de partículas de pigmento mecanicamente, permitindo a umectação externa e interna de cada partícula [8]; moagem, onde ocorre a dispersão maximizada do sistema [7] e controle de qualidade, etapa onde ocorre a análise e possível correção de alguma propriedade do composto (viscosidade, teor de sólidos, fineza, etc.).

A tinta flexográfica é uma combinação de elementos sólidos e voláteis. Tecnicamente trata-se de um composto de um ou mais pigmentos, homogeneizados em um sistema líquido que, quando submetido a um processo de cura por meio de uma extensão em uma fina película, adere ao substrato, oferecendo resistência físico-química ao mesmo, além do embelezamento da superfície aplicada [9,10]. Por serem sistemas rotativos de alta velocidade, as tintas normalmente possuem baixa viscosidade e secagem acelerada [11], onde as matérias-primas básicas para a produção de quase todo tipo de tintas são resinas, pigmentos, solventes e aditivos [7].

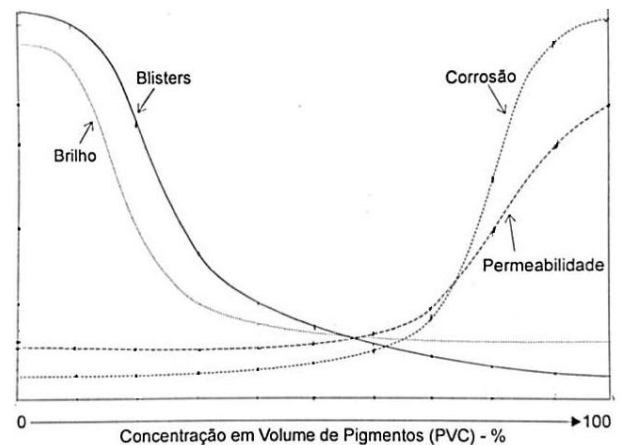
As resinas são responsáveis pela maioria das propriedades físicas e químicas das tintas, e também pela caracterização e determinação de sua finalidade [7]. Propriedades como brilho, dureza, flexibilidade, resistência à abrasão e a agentes alcalinos são governadas basicamente pelas resinas [12]. Faz-se necessário conhecer muito bem a resina e suas particularidades antes da formulação da tinta, como sua estrutura, grau de afinidade com solventes e pigmentos, tamanho de cadeia e resistências são pontos cruciais para o bom desempenho do produto [11]. Para auxiliar nas características da tinta conferidas pelas resinas, são utilizados aditivos que proporcionam propriedades especiais ou melhoria das já adquiridas [9]. Geralmente, os aditivos são empregados em pequenas concentrações (< 5%), possuindo uma vasta variedade de utilização na indústria de tintas e vernizes, como dispersantes, plastificantes, ceras, deslizes, umectantes, antiespumantes, entre outros [10].

Como as resinas e aditivos, os pigmentos, além de responsáveis pela tonalidade, cobertura e intensidade de cor da tinta [10], também atribuem características especiais às tintas como resistência ao intemperismo, solidez à luz e dispersabilidade [12]. Para garantir uma boa umectação e moagem do pigmento durante o processo de produção do concentrado, é essencial conhecer a natureza do pigmento e suas especificações de acidez, tamanho de partícula e área superficial. Um dos métodos mais utilizados para descrever informações sobre a composição e características de uma tinta é a concentração volumétrica dos pigmentos (PVC), onde

se trata da razão da concentração volumétrica do pigmento pelo volume total de sólidos [12], conforme Equação 1.

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_v} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $V_p$  é o volume de pigmento (%) e  $V_v$  é o volume de veículo sólido (%).



**Figura 2.** Efeitos da variação da concentração em volume de pigmentos (PVC).

De acordo com a Figura 2, uma das características diretamente relacionadas ao PVC é que quanto menor seu resultado obtém-se uma película fina, brilhante e semipermeável. Na medida em que o PVC aumenta, a película se torna rugosa, fosca e permeável [13].

Para que a tinta apresente um aspecto final homogêneo, é adicionado solvente à sua composição. Trata-se de um líquido volátil utilizado para dissolver a resina. Pode-se dizer que os solventes respondem por grande parte das propriedades de aplicabilidade das tintas, diretamente relacionados com o nivelamento, escorrimento e grau de reticulação [9]. Os solventes mais utilizados na flexografia são: álcool etílico, álcool propílico, álcool isopropílico, acetato de etila, acetato de propila, butil glicol e água. A mistura desses solventes acrescentam propriedades específicas de solvência, tempo de secagem e viscosidade [10].

Pode-se dizer que dentre todos os componentes da formulação de uma tinta de impressão, a resina de nitrocelulose se destaca quanto à diversidade de aplicações. Devido à sua solubilidade em diversas classes de solvente orgânicos e sua alta compatibilidade com outros tipos de resinas [14], é caracterizada como um dos melhores sistemas para a umectação de pigmentos. Possui também um baixo odor residual e baixa retenção de solventes [15]. Classificada como uma resina dura, esta característica

exige a adição de plastificantes ou de uma co-resina ao meio, principalmente para não deixar a tinta com efeito quebradiço [10]. Apesar de sua vasta gama de aplicações em diversas linhas de produção, o apelo econômico e ambiental vem gerando novas alternativas de resinas com a proposta de substituir parcialmente ou totalmente a nitrocelulose no processo de fabricação das tintas para gravura, como é o caso das resinas poliuretânicas [16]. Geralmente de alto peso molecular e possuindo uma longa cadeia, as resinas poliuretânicas, além de proporcionar uma boa umectação do pigmento e ótima formação de filme, conferem à tinta características que são ausentes na nitrocelulose como: alta força de laminação, resistência à água, maleabilidade e uma excelente ancoragem ao substrato [16,17].

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho das tintas flexográficas com a substituição parcial de nitrocelulose por poliuretano nos concentrados, analisando sua capacidade de umectação dos pigmentos e possíveis melhoras nas propriedades de adesão e força de laminação da tinta. Um planejamento estatístico de misturas foi utilizado para auxiliar na elaboração e otimização das formulações das tintas flexográficas e também na análise dos resultados, através de diagramas de superfícies. Em um experimento planejado, fazem-se variações deliberadas nas variáveis controladas do processo, observando os dados de saída do sistema e então realiza-se uma decisão acerca de quais variáveis são responsáveis pelas mudanças no desempenho do produto [18]. Com este método é possível encontrar um limite ótimo na substituição parcial de nitrocelulose por poliuretano nas composições das tintas, a fim de atender todos ou em grande parte aos quesitos especificados para assegurar a qualidade do produto final.

## 2. Materiais e métodos

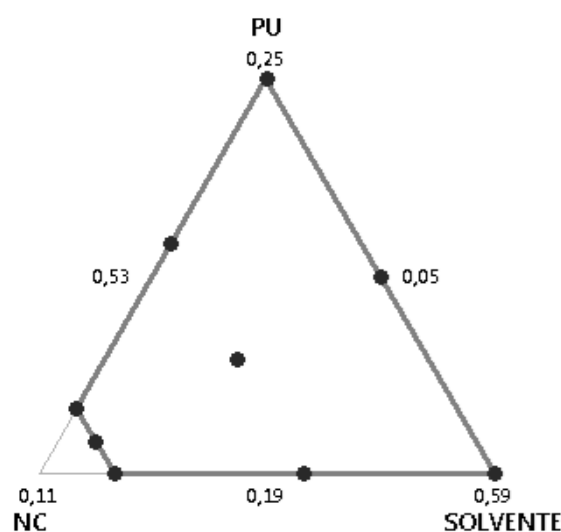
### 2.1 Planejamento estatístico de experimentos: Misturas.

As tintas flexográficas são compostas por resinas, pigmentos e aditivos e solventes. Com o objetivo de avaliar a substituição parcial de uma resina de nitrocelulose por uma de poliuretano através da utilização de um planejamento estatístico de misturas, as matérias-primas foram separadas em três grupos: Nitrocelulose (NC), Poliuretano (PU) e Solvente.

O planejamento estatístico de misturas foi elaborado com a utilização do software Minitab 17 através do módulo *DOE Mixture Design*, onde foram especificados os limites máximos e mínimos de cada

grupo de matérias-primas. O tipo de *design* utilizado foi o *Extreme Vertices* com a opção de 1 (um) ponto central com 3 (três) réplicas, a fim de verificar a existência de erros durante a elaboração das composições em laboratório, na realização dos testes de caracterização e elevar a confiabilidade dos resultados estatísticos.

Estas especificações permitiram obter 11 (onze) misturas, sendo 3 (três) delas contendo os mesmos percentuais das matérias-primas, ou seja, as réplicas. Este planejamento pode ser observado na Figura 3. Os percentuais das demais matérias-primas, como pigmentos e dispersantes, foram fixados nas composições das tintas em 16% e 1%, respectivamente.



**Figura 3.** Representação gráfica do planejamento estatístico de experimentos envolvendo misturas.

As propriedades técnicas analisadas foram a viscosidade, o brilho, a força de cobertura, a tonalidade ( $\Delta E$ ), a transparência, a adesão, a fricção, a resistência à água, a resistência ao leite, a tendência ao blocking e a força de laminação.

### 2.2 Preparação dos Concentrados de Tinta Flexográfica

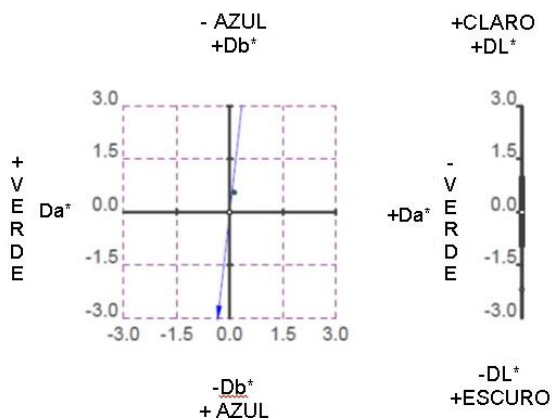
As composições foram inicialmente dosadas em cargas de 100g em frascos de vidro de 300 mL, com o auxílio de uma balança analítica Marte modelo AS2000C (mín: 0,5 g; máx: 2.000 g; e: 0,1 g; d: 0,01 g). Finalizadas as dosagens, foram adicionadas 50 g de esferas de vidro de 2 mm de diâmetro ao frasco, a fim de aumentar o cisalhamento entre as partículas do pigmento. Colocaram-se os frascos em um agitador tipo Skandex (modelo 581) pelo período de 1 hora. Após a moagem, as composições foram peneiradas em

malha 18 mesh (1 mm de abertura), obtendo assim os concentrados para o desenvolvimento das tintas.

### 2.3 Métodos de Caracterização das Propriedades Técnicas

As tintas flexográficas obtidas a partir dos concentrados foram caracterizadas de acordo com os procedimentos descritos a seguir e atendendo as especificações técnicas estabelecidas na Tabela 1. Todos os substratos utilizados para as aplicações das tintas possuem tratamento corona de 38 a 40 dinas, onde todas as aplicações foram realizadas manualmente.

- Tempo de escoamento (s): o tempo de escoamento foi determinado utilizando-se um viscosímetro TKB Copo Zahn 2. O mesmo foi mergulhado na tinta, onde acionou-se o cronômetro no instante em que o instrumento foi retirado por completo do produto, pausando-o a partir do instante em que se observa o gotejamento da amostra.
- Brilho (UB): as tintas foram aplicadas em um filme de polietileno transparente com o auxílio de um extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$ . Como suporte, foi utilizado o fundo branco de um papel leneta. Após a cura da tinta, foi feita a medida do brilho através do equipamento Glossmeter BYK Micro-TRI-Gloss, com ângulo de reflexão de 60°.
- Força (%) e Tonalidade ( $\Delta E$ ): para a leitura e análise dos parâmetros de cor, realizou-se uma extensão comparativa do padrão e da amostra em papel leneta, com o auxílio do extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$ . A caracterização dos resultados foi feita de acordo com o manual de operação do espectrofotômetro Datacolor 110, utilizando o iluminante D65 10 deg, onde os resultados de tonalidade (DL, Da e Db) são expressos graficamente conforme Figura 4.



**Figura 4.** Representação gráfica dos parâmetros de tonalidade.

- Transparência: as amostras foram aplicadas com um extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$  comparativamente ao padrão em um filme de polietileno transparente. A transparência foi determinada visualmente por quatro analistas de forma simultânea, observando a limpidez do substrato quando posto contra a incidência de luz.
- Adesão: em um substrato PET transparente, realizou-se a extensão da amostra utilizando o extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$ , colocando o filme em estufa, Quimis modelo 0317M-22, por 5 (cinco) minutos a 60 °C, a fim de acelerar a cura da tinta. Aderiu-se um pedaço de fita filamentosa 3M Scotch 8809 de aproximadamente 5 cm sobre a aplicação da tinta, retirando-a rapidamente em movimento contínuo. A análise foi feita com base no deslocamento da tinta da base do substrato. Esta propriedade é qualitativa e comparada com uma tinta padrão. A avaliação foi realizada por 4 (quatro) analistas.
- Fricção: a caracterização foi determinada de acordo com o grau de resistência da tinta a partir da fricção de cinco ciclos do substrato aplicado. Utiliza-se o filme PET transparente para a aferição, realizando-se a extensão da tinta com o extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$ . A avaliação foi realizada qualitativamente por 4 (quatro) analistas.
- Resistência à água/ ao leite: com auxílio de um extensor espiral de 10  $\mu\text{m}$ , aplicaram-se as tintas em um filme de polietileno pigmentado. Concluídas as extensões, os filmes foram mergulhados em recipientes contendo água e leite, separadamente, e inseridos em uma geladeira por um período de 2 (duas) horas a uma temperatura de 5 °C. A análise foi realizada friccionando as aplicações em água corrente, caracterizando-as de acordo com o deslocamento da tinta da base do substrato. Esta propriedade é qualitativa e sua avaliação foi feita por 4 (quatro) analistas.
- Resistência ao blocking: duas aplicações são realizadas com o extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$  em PET transparente e unidas de modo que suas faces fiquem em contato. O conjunto foi então colocado em estufa, Quimis modelo 0317M-22, a uma temperatura de 60 °C durante o período de 2 (duas) horas sob um lingote de aço de 1,5 kg de dimensões 15cm x 10cm x 1cm. Ao término do tempo estipulado, observou-se a resistência das amostras ao descolamento, qualificando-as em resistente ou não resistente conforme ilustrado na Figura 5.
- Força de laminação: com o extensor espiral de 20  $\mu\text{m}$ , aplicou-se a tinta em um filme de PET transparente, deixando-o curar pelo período de 12 (doze) horas. Após a cura, a amostra foi laminada manualmente com polietileno transparente utilizando o adesivo Coim-NC5280 e o catalisador Coim-CA5540, em uma proporção 10:1, respectivamente. Realizou-se a aplicação dos mesmos com o extensor espiral de 5

$\mu\text{m}$ . Os corpos de prova foram então colocados sob lingotes de aço, totalizando 5 kg, pelo período de 24 (vinte e quatro) horas, de forma a simular o embobinamento ao final do processo de impressão. A análise é feita comparativamente em um texturômetro, modelo TA.HD.plus, conforme norma ASTM F904 – 98.

As faixas para as propriedades de transparência, adesão, fricção, resistência à água e resistência ao leite variam de 1 a 4, onde: 1 = bom; 2 = regular; 3 = ruim e 4 = péssimo.



**Figura 5.** Caracterização da análise de resistência ao blocking. Onde: aplicação à esquerda – resistente; aplicação à direita – não resistente.

### 2.3 Análise dos resultados

Utilizando o software Minitab 17, foram analisados estatisticamente os resultados das caracterizações das tintas formuladas. A influência das matérias-primas nos resultados de cada propriedade foi determinada através de gráficos de contorno na forma de diagramas triaxiais. Estes diagramas foram elaborados a partir de uma análise estatística de variância, observando o modelo mais adequado para representar a propriedade técnica, juntamente com 3 (três) parâmetros estatísticos, como o fator F ( $>1$ ), valor-P ( $<0,1$ ) e o fator de correlação  $R^2$ .

O software Minitab possui uma ferramenta de análise de resposta chamada *Overlaid*, que utiliza os resultados dos diagramas triaxiais de cada propriedade estudada e os agrupa em um único diagrama. Além destes resultados, foram inseridas as especificações desejadas para cada propriedade, conforme apresentado pela Tabela 1. Esta ferramenta de resposta permite obter um range de opções de novas composições capazes de atender as especificações estabelecidas e

ampliar as análises sobre a influência dos grupos das matérias-primas que foram utilizadas.

Após a análise deste diagrama de resposta, foi selecionada uma nova composição, e caracterizada conforme os procedimentos descritos anteriormente, acrescentando as determinações de resistência ao blocking e força de laminação.

### 3. Resultados e Discussão

A utilização do planejamento estatístico de experimentos permite verificar a influência de cada matéria-prima nos resultados das propriedades analisadas. Na Figura 6 são apresentados os resultados na forma de diagrama de superfície para as propriedades viscosidade, brilho, força de cobertura e tonalidade ( $\Delta E$ ).

A viscosidade das tintas desenvolvidas não apresentaram diferenças significantes entre si (Figura 6a), permanecendo todas dentro da faixa estabelecida na Tabela 1. Contudo, nota-se que há uma tendência ao aumento da viscosidade com maiores quantidades de poliuretano (PU) no sistema estudado. Já as composições mais ricas em nitrocelulose (NC) proporcionaram melhor estabilidade à tinta, devido a sua propriedade de umectação do pigmento. Os resultados podem ser explicados pela disposição das cadeias poliméricas dos compostos utilizados. Os polímeros detentores de cadeias longas e cruzadas possuem viscosidades mais elevadas [19], como é o caso do poliuretano elastomérico utilizado. O modelo utilizado para representar estes resultados foi o “*special cubic*”, obtendo um valor de  $R^2$  igual a 83,55%, demonstrando uma boa correlação entre os percentuais de cada componente e o valor da viscosidade. Estes resultados são confirmados através da análise de ANOVA, resultando em valores do Fator F (4,26) e valor P (0,094) que confirmam esta correlação.

Na Figura 6b, observa-se que à medida que a quantidade de não voláteis (poliuretano e nitrocelulose) das composições das tintas se eleva, o brilho aumenta. Isso ocorre devido à diminuição da concentração volumétrica dos pigmentos (PVC), conforme afirma Fazenda (1995) [12]. A quantidade de sólidos também está diretamente relacionada à força de cobertura da tinta (Figura 6c). Essa influência é o resultado de um rearranjo mais ordenado das partículas de pigmento sobre a película do filme, formada a partir da evaporação do solvente em uma composição com alto teor de sólidos de resina.

A influência dos compostos químicos sobre a tonalidade da tinta (Figura 6d) não é vista de maneira significativa, uma vez que o pigmento e os insumos

**Tabela 1.** Especificações das propriedades técnicas das tintas flexográficas.

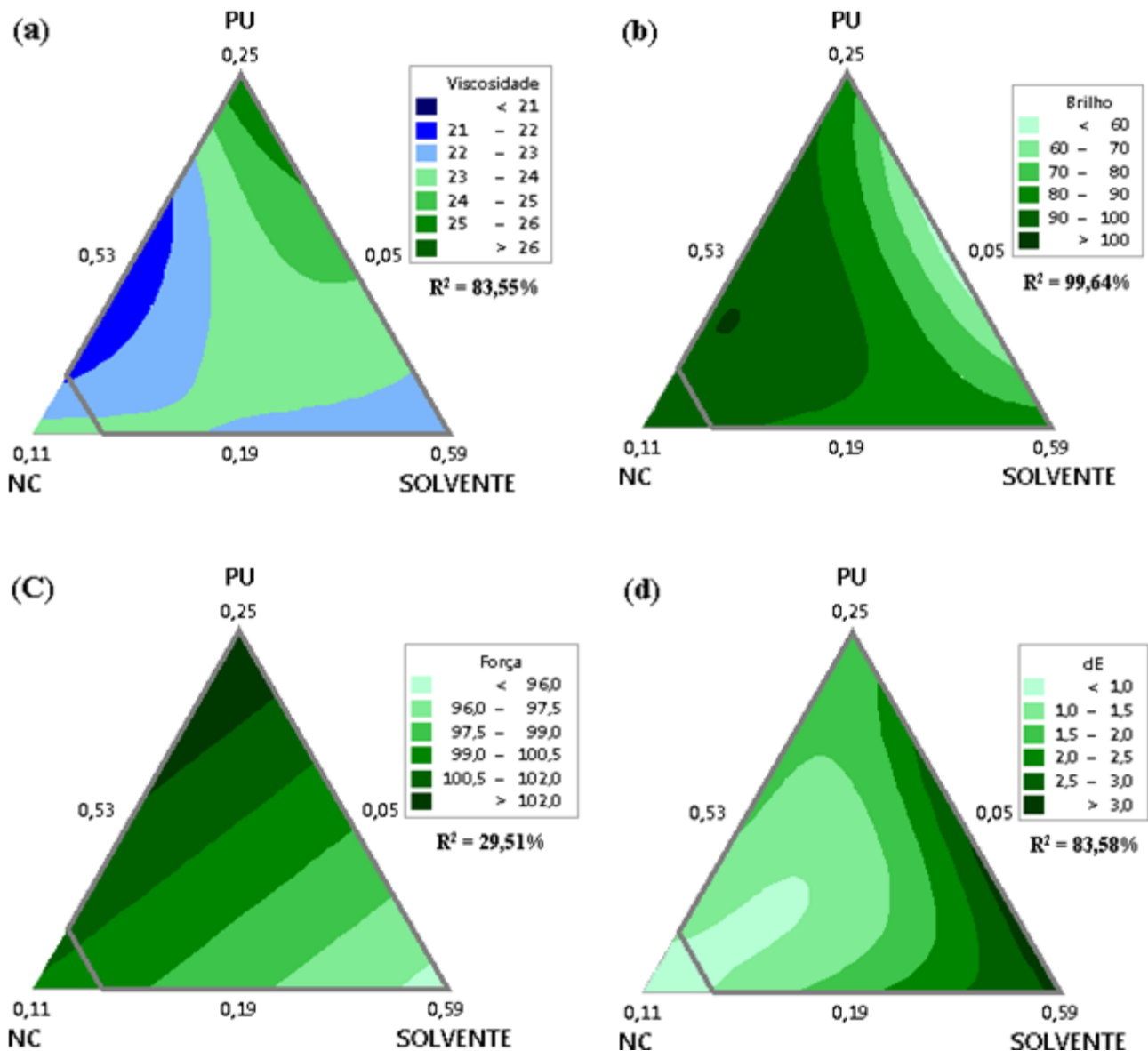
Ensaio	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Limite inferior	20	95	95	0	0	1	1	1	1	= padrão	= padrão
Limite superior	30	$\infty$	$\infty$	1	2	2	2	2	2	> padrão	> padrão

Onde: A – viscosidade; B – brilho; C – força de cobertura; D – tonalidade ( $\Delta E$ ); E – transparência; F – adesão; G – fricção; H – resistência à água; I – resistência ao leite; J – blocking; K – força de laminação.

utilizados para as formulações não foram alterados. Tal variabilidade pode ser explicada pela diferença dos pontos de incidência do feixe de luz do espectrofotômetro ao coletar os dados, uma vez que as análises foram realizadas em diferentes aplicações. Qualquer disparidade entre a força de compressão exercida para efetuar as extensões das tintas ou até mesmo a rugosidade dos substratos podem interferir

nos resultados.

O baixo valor do coeficiente de determinação para a força de cobertura ( $R^2 = 29,51\%$ ) também está bastante relacionado às diferenças de aplicabilidade discutidas, uma vez que a camada de tinta aplicada pode diferir entre um corpo de prova e outro. Para as demais caracterizações, os valores dos coeficientes de determinação foram satisfatórios, comprovando que os



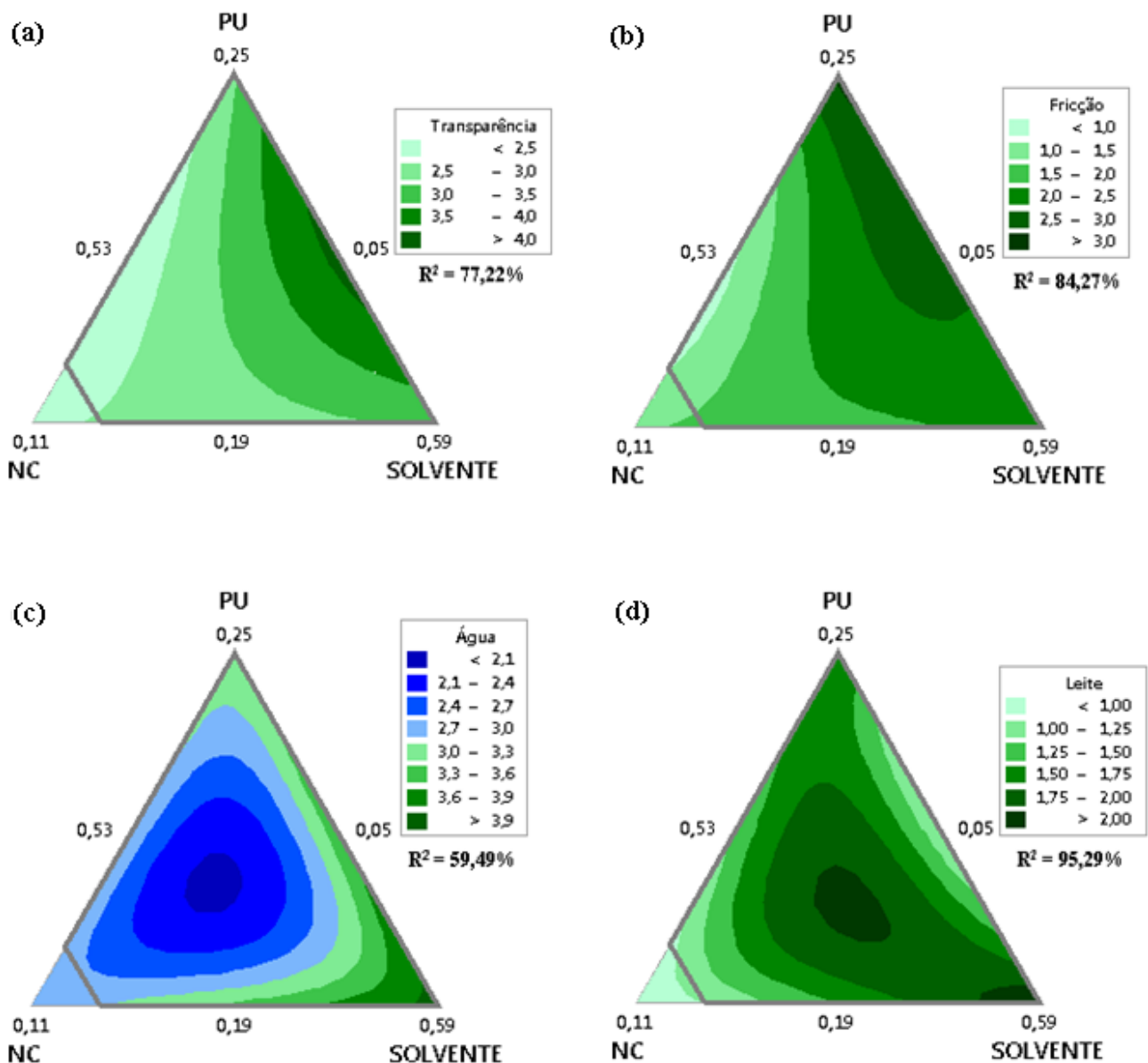
**Figura 6.** Representação gráfica dos resultados obtidos por meio de equipamentos analisados estatisticamente. Influência dos compostos sobre: a) viscosidade; b) brilho; c) força de cobertura; d) tonalidade ( $\Delta E$ ).

modelos matemáticos utilizados para a realização dos gráficos triaxiais se adequaram aos dados experimentais. Esse resultado também é confirmado pelos valores altos do fator F e valores baixos do fator P (Tabela 2), demonstrando que todos os termos do modelo têm sua significância e não podem ser desprezados [18].

Realizando uma análise geral das caracterizações obtidas (Figura 7), nota-se que os melhores resultados foram aqueles que apresentam maiores percentuais de nitrocelulose na composição. Com exceção da análise de transparência, onde o modelo utilizado foi o “*quadratic*”, todos os modelos utilizados para a representação dos resultados foi o “*special cubic*”, onde os valores altos do fator F e valores baixos do fator P confirmam a significância dos termos utilizados, conforme Tabela 2.

Para as análises que necessitam da aplicação de força mecânica, como no caso da fricção (Figura 7b), resistência à água (Figura 7c) e resistência ao leite (Figura 7d), os resultados positivos são influenciados diretamente pelo teor de sólidos de poliuretano no sistema, mesmo que algumas caracterizações obtidas a partir dos gráficos triaxiais indiquem o contrário. Isso porque a nitrocelulose é classificada como uma resina dura, deixando a tinta com aspecto quebradiço caso não seja plastificada com alguma co-resina ou plastificante de função [14].

Outra ferramenta disponibilizada pelo software de planejamento estatístico Minitab 17, é a possibilidade da análise conjunta das influências dos compostos químicos sobre as propriedades da tinta. Os resultados obtidos em cada caracterização são combinados em um novo gráfico triaxial, utilizando



**Figura 7.** Representação gráfica dos resultados obtidos por meio de qualificação humana analisados estatisticamente. Influência dos compostos sobre: a) transparência; b) fricção; c) resistência à água; d) resistência ao leite.

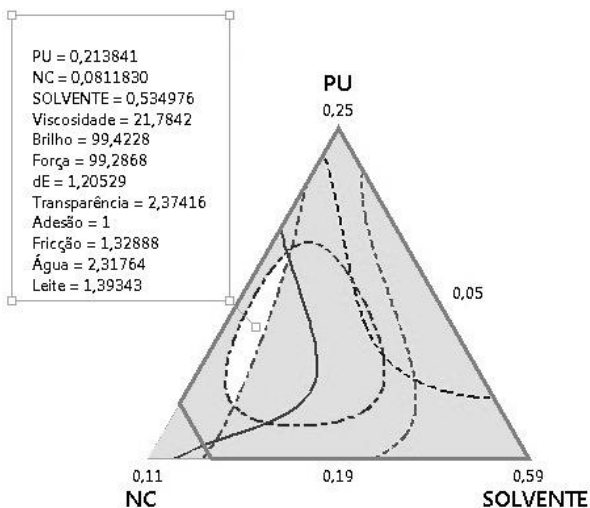
**Tabela 2.** Resultados do fator F e fator P referente aos modelos utilizados para cada caracterização.

	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Modelo</b>	Cúbico especial	Cúbico especial	Linear	Cúbico especial	Quadrático	Cúbico especial	Cúbico especial	Cúbico especial
<b>F</b>	4,26	152,79	1,67	6,58	4,29	1,63	7,37	21,60
<b>P</b>	0,094	0,000	0,247	0,050	0,070	0,258	0,030	0,010

Onde: A – viscosidade; B – brilho; C – força de cobertura; D – tonalidade ( $\Delta E$ ); E – transparência; F – fricção; G – resistência à água; H – resistência ao leite

como resultados de interesse os dados já inseridos no programa, conforme Tabela 1.

Na Figura 8, observa-se uma área destacada no gráfico, onde, teoricamente, todas as formulações ali contidas proporcionam a obtenção de todas as propriedades definidas concomitantemente. O ponto central da área estabelecida foi selecionado para comprovação técnica dos dados obtidos. A Tabela 3 apresenta o comparativo entre os resultados das propriedades apresentados pelo software e da fórmula ótima desenvolvida e analisada em laboratório.

**Figura 8.** Combinação dos resultados das propriedades obtidos individualmente.**Tabela 3.** Comparativo entre as propriedades esperadas pelo software e os resultados obtidos em laboratório.

Ensaio	Software	Laboratório
Viscosidade (s)	22,78	21
Brilho (UB)	99,42	97,38
Força de cobertura (%)	99,29	99,75
Tonalidade $\Delta E$	1,20	0,79
Transparência	2,37	1
Adesão	1	1
Fricção	1,33	1
Resistência à água	2,32	3
Resistência ao leite	1,39	2

Como pode ser observado, as propriedades de viscosidade, brilho, força de cobertura e tonalidade, que foram obtidas através de equipamentos analíticos,

se comportaram de forma muito semelhante às simuladas pelo software de planejamento estatístico. Isso comprova que os resultados encontrados se adequaram aos modelos matemáticos utilizados. A pequena variação nas caracterizações de transparência, resistência à água e resistência ao leite podem ser explicadas pelo fato de que as qualificações foram feitas a partir de notas concedidas pelos colaboradores do projeto, podendo divergir entre uma análise e outra.

A Tabela 4 apresenta os resultados entre as forças de laminação do sistema nitrocelulose e do sistema com substituição parcial de poliuretano obtido através da análise de planejamento estatístico. As análises foram feitas em triplicata, onde pode se observar um aumento de até 3 (três) vezes na força com a incorporação da resina poliuretânica na composição do concentrado.

**Tabela 4.** Comparativo entre as forças de laminação do sistema base nitrocelulose (NC) e do sistema com substituição parcial de nitrocelulose por poliuretano (NC/PU).

Amostras	Força média (gF)	Força Máxima (gF)
NC 01	168,18	174,63
NC 02	172,56	181,77
NC 03	72,25	80,34
PU/NC 01	260,02	272,49
PU/NC 02	265,37	303,77
PU/NC 03	221,59	247,67

A partir da avaliação da nova proposta de formulação, verificou-se que a substituição parcial de nitrocelulose pelo poliuretano elastomérico nos concentrados resulta em um aumento na força de laminação da tinta, ausentando-se de tack residual e eliminando a possibilidade de blocking, conforme resultados técnicos comprovados experimentalmente. Esse aumento pode ser potencializado com a realização de ajustes na composição para a correção das propriedades danificadas pela alteração, como a resistência à água e resistência ao leite.

#### 4. Conclusão

Com a utilização da técnica de planejamento estatístico, foi possível identificar com clareza a influência de cada composto químico nas propriedades físico-químicas da tinta. Os gráficos triaxiais gerados permitiram a verificação do comportamento das características do produto de acordo com a variação de concentração das matérias primas. A união dos resultados permitiu a obtenção de uma fórmula em que as propriedades de interesse atendessem as especificações estabelecidas como apropriadas para a continuação do projeto, ou até mesmo para a aprovação do novo produto.

A partir da análise dos resultados, nota-se que a principal vantagem da substituição parcial de nitrocelulose por poliuretano elastomérico é o aumento da força de laminação da tinta, sendo o principal objetivo do estudo. Com o aperfeiçoamento desta característica, atribui-se qualidade tanto à embalagem, quanto ao produto envasado, garantindo melhoria à barreira a agentes externos das estruturas laminadas e, conseqüentemente, aumentando a proteção do produto. As propriedades que não atenderam as especificações técnicas pela alteração das resinas, podem ser corrigidas por ajustes na proporção da substituição ou com a incorporação de aditivos à formulação.

Cabe ressaltar que tanto as proporções dos compostos químicos, quanto o poliuretano utilizado para a substituição da nitrocelulose podem variar de acordo com a natureza química do pigmento e suas especificidades. Propriedades como acidez, polaridade e área superficial podem vir a interferir nos resultados entre formulações idênticas, apenas com a mudança de pigmento.

Por fim, conclui-se que o poliuretano apresenta grande potencial para a otimização das tintas destinadas a embalagens de estruturas laminadas, por meio da substituição da resina de nitrocelulose nos concentrados.

#### 5. Referências

- [1] QUEIROZ, Fernanda Cristina Barbosa Pereira; HÉKIS, Helio Roberto; QUEIROZ, Jamerson Viegas. A geração de inovação como estratégia de diferenciação: um estudos com empresas do setor de tintas vernizes e solventes do sul de Santa Catarina. **CEPPG**, Catalão, n. 23, p.8-23, 2010.
- [2] Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, 2016. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/>> Acessado em 17 de abril de 2018.
- [3] RÁCZ, Francisco; YAMAGA, Whashington. Projeções Pragmáticas do Mercado de Tintas Brasileiro Para os Próximos Anos. **Paint & Pintura**, São Paulo, n. 228, p.14-17, 2017.
- [4] IZDEBSKA, Joanna. **Flexographic Printing**. - Faculty Of Production Engineering, Warsaw University Of Technology, Warsaw, 2016.
- [5] Kenneth A. Bownes. **Novel Nitrocellulose Flexographic Printing Inks**. USA nº CI 260-13, 23 nov. 1966, 14 out. 1969. .
- [6] PEKAROVICOVA, Alexandra; HUSOVSKA, Veronika. **Printing Ink Formulation**. - Chemical and Paper Engeneering, Western Michingan University, Kalamazoo, 2016.
- [7] YAMANAKA, Hélio Tadashi. **Guia Técnico Ambiental de Tintas e Vernizes**. São Paulo: Fiesp, 2006.
- [8] SEERIG, Rafael. **Estudo da Influência de Cargas Mineraias Utilizadas em Tintas Imobiliárias**. 2013. 33 p. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- [9] FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Textonovo, 1995. 1º v. 692 p.
- [10] SCARPETA, Eudes. **Flexografia: Manual Prático**. São Paulo: Bloco de Comunicação, 2007. 229 p.
- [11] SOUZA, Élcio. **Manual de Impressão Flexográfica**. - Associação Brasileira de Tecnologia Gráfica, São Paulo, 2008.
- [12] FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Textonovo, 1995. 2º v. 692 p.
- [13] ARAÚJO, Alexsander Prado de. **ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO ANTICORROSIVO DE TINTAS EPÓXI COM PIGMENTOS A BASE DE MOLIBDATOS E FOSFATOS**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- [14] **Manual Técnico de Nitrocelulose**. - Nitro Química, São Paulo, 54 p.
- [15] FALLAH, Fatemeh; KHORASANI, Manouchehr; EBRAHIMI, Morteza. **Improving the Mechanical Properties of Waterborne Nitrocellulose Coating Using Nano-Silica Particles**. - Progress in Organic Coatings, V. 109, p. 110-116, 2017.
- [16] HOWARD, Gary T. Biodegradation of

Polyurethane: A Review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Hammond, v. 49, p. 245-252, 2002.

- [17] MEKEWI, Mohammed A. et al. Preparation and Characterization of Polyurethane Plasticizer for Flexible Packing Applications: Natural Oils Affirmed Access. **Egyptian Journal Of Petroleum**, v. 26, p. 9-15, 2017.
- [18] MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C.. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. ed. Arizona: Ltc, 2009. 491 p.
- [19] BARRA, Guilherme. **Apostila de Processos 4: Parte 1: Fundamentos de Reologia de Materiais Poliméricos**. Florianópolis. 68 p.