

Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos

Production process and evaluation of performance requirements of soil pigments based paint for buildings

Fernando de Paula Cardoso
Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga
Anôr Fiorini de Carvalho
Maurício Paulo Ferreira Fontes

Resumo

Os pigmentos de solos são uma alternativa sustentável para a produção de tintas para a construção civil. Neste trabalho foram desenvolvidos processos de produção de tintas com pigmentos de solos, com vistas à obtenção de suspensões homogêneas e estáveis e à avaliação de seu desempenho, de acordo com a ABNT NBR 15079:2011. Foram utilizados pigmentos obtidos de três solos do município de Viçosa, MG. As formulações foram definidas por meio do delineamento experimental de misturas. O desempenho das misturas foi avaliado de acordo com os limites dos requisitos de desempenho estabelecidos pela ABNT e a viscosidade e o pH foram medidos e relacionados ao desempenho. Os resultados indicam que em nenhuma das séries foram obtidas formulações que atendessem a todos os requisitos de desempenho simultaneamente. O pH exerceu forte influência sobre o desempenho, tendo determinado a viscosidade, a resistência à abrasão e os poderes de cobertura seca/úmida. A dispersão mecânica, o "PVOH" e a morfologia das partículas dos pigmentos determinaram os resultados obtidos por este trabalho, configurando-se como temas-chave a serem abordados por outros estudos.

Fernando de Paula Cardoso
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

Palavras-chaves: Tintas com pigmentos de solos. Processos de produção. Desempenho.

Abstract

Rita de Cássia Silva Sant'Anna
Alvarenga
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

The soil pigments are a sustainable alternative for the production of a paint to use on buildings. In this study production processes for soil pigment based paints were developed, aimed at obtaining a homogeneous and stable suspension, as well as evaluating the paints performance according to the norms established by ABNT NBR 15079:2011. Three samples of soil pigments extracted in the city of Viçosa, MG, were used. The formulations were defined using the statistic experimental mixture design. The performance of the mixtures was evaluated according to the limits of performance requirements established by ABNT. Both viscosity and the pH were measured and related to the performance. The results indicated that none of the formulations met all the performance requirements simultaneously. The pH had strong influence on performance, having defined viscosity, abrasion resistance, and the dry/wet paint hiding power. The mechanical dispersion, the "PVOH" resin and the pigments morphology determined the results obtained in this study, having become key themes to be addressed by other projects.

Anôr Fiorini de Carvalho
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

Maurício Paulo Ferreira Fontes
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

Recebido em 20/02/15
Aceito em 09/05/16

Keywords: Soil pigments paint based. Production process. Performance.

Introdução

O propósito deste trabalho é contribuir com o aperfeiçoamento do processo de produção de tintas para a construção civil com pigmentos de solos – utilizado por comunidades tradicionais e resgatado nas atividades de um projeto de extensão universitária¹ – que atenda aos requisitos de uma tecnologia social². A criação do projeto foi motivada tanto pela falta de pintura da maioria das edificações periurbanas, o que se deve ao custo elevado dos produtos voltados para o acabamento, quanto pela perda do conhecimento tradicional da técnica de execução de pinturas com pigmentos de solos, denominada popularmente de barreado.

Barrear consiste em aplicar solos argilosos, geralmente tabatinga³, diluídos em água sobre paredes construídas com terra – pau a pique e adobe – com o uso de um pano. Devido à compatibilidade entre o material utilizado para a construção das paredes e aquele utilizado para a pintura, ou seja, a terra, o barreado se comporta bem, apenas requerendo manutenções periódicas como qualquer pintura (CARDOSO; CARVALHO; FONTES, 2014). No entanto, o barreado não adere bem às superfícies de alvenaria, revestidas com argamassas à base de cimento e/ou cal, devido à redução da porosidade e à incompatibilidades físico-químicas.

Para garantir a aderência da terra às superfícies de alvenaria, foi proposta pelo projeto a adição da resina poliacetato de vinila (PVA), numa proporção em volume de 1:2:2 de PVA, terra e água, com o objetivo de produzir tintas látex ou PVA. Com essa medida o projeto passou a disseminar a “nova técnica” por meio de atividades que resultaram na capacitação de pintores que, a partir de então, prestam o serviço de pintura com pigmentos de terra. Os relatos dos usuários sobre o desempenho das tintas de terra são, na maioria, satisfatórios. Porém se registrou a dificuldade de se obterem suspensões estáveis com os pigmentos de solos devido à decantação das partículas, o que compromete a homogeneidade das tintas e o trabalho de pintura (FONTES; CARVALHO; CARDOSO, 2013).

As tintas são compostas de solvente, resina e pigmento. Os solventes são usados para solubilizar a resina e manter os pigmentos em mistura homogênea. A resina é a parte não volátil da tinta, que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. Em tintas de base aquosa o solvente é a água, e a resina está na forma de dispersão aquosa de partículas de dimensões submicrométricas.

Tintas, alimentos, produtos químicos, etc., são misturas de vários componentes. Para tais produtos, o interesse é determinar qual é a proporção dos componentes que conduz a um resultado desejado em termos de uma variável que caracteriza a qualidade do produto. Quando não se sabe de antemão qual é a proporção ideal de cada componente, são realizados experimentos. Nesses experimentos são arbitradas várias combinações de proporções dos componentes e são avaliados os valores correspondentes às características de qualidade. Esses valores são denominados respostas do experimento (VIEIRA; DAL BELLO, 2006).

A partir de um delineamento de misturas, a resposta ou propriedade muda somente quando são feitas alterações nas proporções dos componentes que fazem parte dessa mistura. Portanto, a finalidade principal de se utilizar essa metodologia é verificar como as respostas ou propriedades de interesse são afetadas pela variação das proporções dos componentes da mistura (GOMES *et al.*, 2005); além disso, diminuir o número de experimentos necessários para determinar as propriedades ótimas do sistema em estudo, sejam essas propriedades físicas ou reológicas.

As tintas devem apresentar desempenho compatível com sua finalidade. Para o caso das tintas látex a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece os requisitos de desempenho para três categorias de tintas, denominadas econômica, standard e premium. As tintas são enquadradas nas referidas categorias de acordo com o desempenho apresentado quando submetidas aos ensaios indicados pela ABNT NBR 15079 (ABNT, 2011). Com o intuito de desenvolver uma tecnologia social, os limites estabelecidos para a categoria látex econômica, apresentados na Tabela 1, são os mais adequados.

¹O projeto de extensão universitária Cores da Terra, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, MG, desde 2005 (PRJ-098/2005), aperfeiçoa e difunde a técnica do barreado para a produção de tintas residenciais de baixo custo, apropriáveis por comunidades periurbanas e rurais.

²Segundo Dagnino (2009), tecnologia social compreende produtos, técnicas e/ou metodologias replicáveis desenvolvidas na interação com a comunidade que representem efetivas soluções de transformação social.

³A palavra “tabatinga” é de origem indígena, vindo do tupi (towa'tinga) e tendo seu significado designado como barro branco ou barro esbranquiçado (HOUAISS, 2001).

Tabela 1 - Limites mínimos dos requisitos de desempenho para a categoria látex econômica, conforme a norma ABNT NBR 15079:2011

Requisitos	Método de ensaio	Unidade	Limites
PCS ¹	NBR 14942 (ABNT, 2012)	m ² /L	4,0
PCU ²	NBR 14943 (ABNT, 2003)	%	55,0
RAU ³	NBR 15078 (ABNT, 2004)	Ciclos	100,0

Nota: Legenda:

¹ Poder de cobertura da tinta seca;

² Poder de cobertura da tinta úmida; e

³ Resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva.

O objetivo deste trabalho é desenvolver processos de produção e avaliar o desempenho de tintas manufaturadas com pigmentos de solos provenientes da região de Viçosa, MG, e resinas à base de PVA, de acordo com os requisitos mínimos determinados pela NBR 15079 (ABNT, 2011) para tintas da categoria látex econômica, com enfoque no desenvolvimento de uma tecnologia social que utiliza materiais acessíveis e de baixo custo, e processos de fácil apreensão e replicação, adaptados à realidade da autoprodução.

Material e métodos

Para realizar este trabalho, as referências iniciais foram as experiências desenvolvidas pelo projeto de extensão universitária Cores da Terra, integradas com processos adotados nas indústrias de tinta e de cerâmica, tomando os conhecimentos da ciência do solo para interpretar os fenômenos observados. As propostas inovadoras foram estudadas de acordo com o método estatístico de modelagem de misturas.

Seleção, extração e dispersão mecânica dos pigmentos de solos

Os pigmentos utilizados foram extraídos de solos e são referidos aqui como dois tipos principais, doravante denominados como solos e pigmentos. O material denominado solo refere-se ao solo em seu estado natural, sem nenhum tratamento prévio. O material denominado pigmento refere-se ao solo tratado com dispersão mecânica e posterior peneiramento.

Foram coletados três solos ocorrentes no município de Viçosa, representativos das cores disponíveis e adotados para produzir tintas pela

população local. As amostras de solos coletadas foram denominadas: B (branca), A (amarela) e V (vermelha). Na Figura 1 estão indicados os respectivos pontos de coleta das amostras no relevo. A mesma denominação (B, A e V) foi dada às séries de amostras de tintas produzidas com os pigmentos extraídos dos respectivos solos.

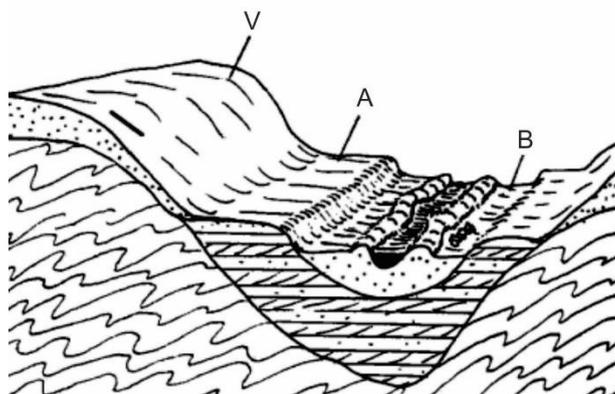
A amostra B foi obtida na Comunidade Córrego dos Barros, em horizonte subsuperficial de gleissolos ocorrentes nos leitos maiores dos cursos d'água (CAMPOS, 1999). A amostra A foi obtida no Bairro Viroleira, em horizonte subsuperficial de argissolos ocorrentes nos terraços fluviais (CORRÊA, 1984; NAIME, 1988); e a amostra V foi obtida nas proximidades do portão de acesso à UFV pela rodovia BR-120, em horizonte subsuperficial de latossolos vermelhos ocorrentes nas elevações convexas (CORRÊA, 1984).

Os solos foram submetidos à dispersão mecânica em água com disco Cowles acoplado em furadeira com motor de 900 W, a 1.500 rpm. O propósito da dispersão é quebrar os aglomerados e agregados mecanicamente, de forma a permitir a mais completa umectação da superfície externa/interna de cada partícula. O tempo de dispersão foi de 30 min para cada solo. Em seguida, o material foi peneirado em tecido de nylon, com trama de fios soldados e orifício quadrado com lado medindo 0,18 mm (equivalente a uma peneira de 80 mesh).

Caracterização dos solos/pigmentos

Para descrever as características dos solos foram realizadas análises físicas e químicas, antes e após a dispersão mecânica e peneiramento, com o objetivo de avaliar comparativamente os efeitos dessa dispersão sobre as características do material.

Figura 1 - Posição no relevo dos pontos de coleta dos solos B, A e V no município de Viçosa



Fonte: adaptada de Muggler *et al.* (2005).

Os pigmentos foram caracterizados quanto à cor utilizando a Carta de Solos de Munsell (1975). Nesse sistema de classificação de cores são consideradas três variáveis, o valor, o matiz e o croma. O valor representa a quantidade do pigmento negro sobre um fundo branco. No caso dos solos os pigmentos negros são principalmente a fração húmica da matéria orgânica. O matiz é resultado da mistura de quantidades progressivamente variáveis de pigmentos contíguos na escala de comprimento de onda. No caso dos solos as cartas possuem misturas progressivas de vermelho e de amarelo, que são as cores mais importantes no desenvolvimento dos solos, mormente os tropicais. O pigmento vermelho é conferido pelo mineral hematita, e o pigmento amarelo, pelo mineral goethita. O croma representa a quantidade das misturas dos pigmentos aplicada sobre o fundo com a cor negra. Assim, quanto maior o croma, maior a vivacidade da cor. Em uma analogia com o processo de pintura, o croma representa o número de demãos de tinta sobre o fundo branco acrescido de pigmento negro.

Portanto, a leitura da cor na Carta de Munsell fornece uma informação importante para prever a composição mineralógica dos solos, que permite inferir a natureza e o comportamento das cargas elétricas presentes na fração coloidal, ou seja, na fração argilosa dos solos.

A caracterização física constou das seguintes análises: granulometria (EMPRESA..., 1997); argila dispersa em água (EMPRESA..., 1997); índices de dispersão e de floculação (EMPRESA..., 1997); e superfície específica (BRANAUER; EMMETT; TELLER, 1938).

Também foram analisadas as principais características químicas para classificação de solos (EMPRESA..., 1999) de acordo com os

respectivos métodos de análise (EMPRESA..., 1997): pH em H₂O e em KCl 1 mol L⁻¹; bases trocáveis; soma de bases (valor SB); acidez; capacidade de troca catiônica (t); percentagem de saturação por bases (valor V).

Ensaio preliminar

Os ensaios preliminares tiveram por objetivo obter os limites de consumo dos componentes a serem utilizados para a produção das misturas.

Ensaio de deflocação

O objetivo de se realizar o ensaio de deflocação foi determinar a quantidade de dispersante necessária para realizar a máxima dispersão das partículas das argilas (pigmentos).

A dispersão química baseia-se no incremento da repulsão entre partículas. As partículas coloidais com cargas iguais e suficientemente fortes repelem-se e dispersam-se. A carga na superfície das partículas resulta da interação entre cátions solvatados dispersos no solvente e a carga na superfície cristalina dos coloides. O sódio é o cátion mais usado para deflocular argilas em meio aquoso (SANTOS, 1975), pois possui baixa densidade de carga e grande raio de solvatação. Quando adsorvido, ele tem pouca carga para inibir a manifestação das cargas das partículas, e o grande raio hidratado expande a dupla camada difusa (RUIZ, 2005).

O ensaio de deflocação é feito medindo-se a viscosidade em viscosímetros a cada adição de dispersante à massa de argila e água. Com os dados obtidos, constrói-se a curva de deflocação, que relaciona a viscosidade com a massa de dispersante. O ponto mínimo de viscosidade é o que corresponde à máxima dispersão dos agregados de partículas (SANTOS, 1975).

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as curvas de defloculação para cada pigmento (B, A e V). A massa de pigmento defloculado foi de 200 g, o dispersante utilizado foi o NaOH da marca Escorpião, com 98% de pureza, e a viscosidade foi medida em viscosímetro de Brookfield, a temperatura de 25 °C.

A curva correspondente ao pigmento B indica que é necessário 0,3 g de NaOH (3 ml de solução 2,5 mol L⁻¹) para alcançar a viscosidade mínima e, dessa forma, realizar a dispersão; para A é necessário 0,6 g de NaOH; e para V é necessário 0,5 g de NaOH.

Resina

A quantidade de resina foi definida de acordo com Uemoto e Silva (2005), que indica que a faixa de consumo para tintas látex é de 4,30% a 13,0% em massa. Para ajustar a faixa foram produzidas amostras de tinta com variações nos consumos de resina e, em seguida, realizados ensaios para a determinação da resistência à abrasão em equipamento adaptado, baseando-se no método determinado pela NBR 15078 (ABNT, 2004).

Figura 2 - Curva de defloculação obtida para o pigmento B

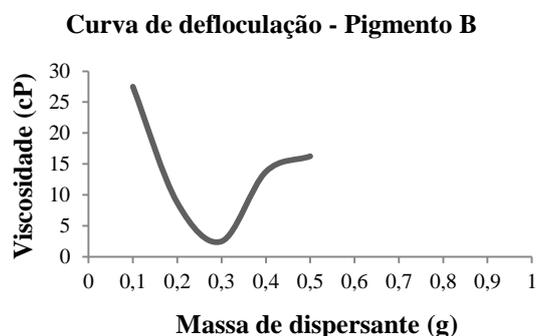


Figura 3 - Curva de defloculação obtida para o pigmento A

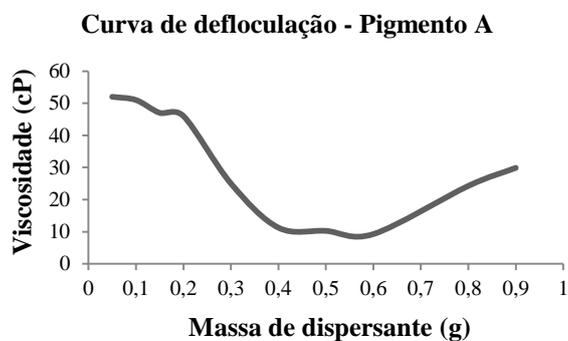
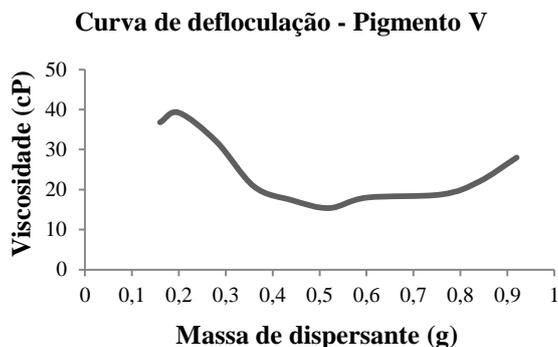


Figura 4 - Curva de defloculação obtida para o pigmento V



Como o propósito deste trabalho é desenvolver uma tecnologia de baixo custo, e considerando que a resina é o componente mais caro, foram realizados testes com o objetivo de alterar o PVA, em busca de melhores resultados. O uso do PVA se deve a duas razões: ser solúvel em água e facilmente encontrado no mercado. Para realizar as alterações, também se considerou a facilidade de acesso aos demais componentes, além do processo de produção, que deve ser simples e não acarretar riscos à saúde do usuário.

Preliminarmente, foram realizados testes com o PVA puro, alterado de duas formas, para produzir o PVOH (polivinil-álcool) e PVA/borato, com os seguintes componentes: PVA da marca Cascorez, categoria universal; etanol a 46% GL; NaOH da marca Escorpião, com 98% de pureza; e bórax (tetraborato de sódio decaidratado).

Segundo Lewin e Pearce (1998), o PVA é solúvel em vários solventes e, quando dissolvido em metanol ou etanol e, em seguida, adicionado um álcali cáustico, a precipitação do PVOH ocorre em alguns minutos. Portanto, neste trabalho foi realizada a tentativa de produzir o PVOH com o uso do etanol, devido a sua maior facilidade de acesso e menor toxicidade. Não foram realizados testes para comprovar se o PVOH foi efetivamente o produto da reação, e sim ensaios que avaliaram preliminarmente o desempenho das tintas produzidas utilizando-se o método indicado pela literatura, com proporções variáveis dos componentes, doravante denominado “PVOH”.

Já o PVA/borato é o produto da polimerização do monômero de acetato de vinila por meio da adição de um ligante cruzado, no caso o bórax (tetraborato de sódio decaidratado). A adição de um ligante cruzado pode incrementar a rigidez do polímero, o que pode resultar no aumento da resistência da película de tinta. Igualmente, as proporções dos componentes foram variadas.

As variações das proporções dos componentes tiveram por objetivo obter as formulações mais adequadas, de acordo com as respostas dos requisitos de desempenho. Das três opções, apenas o PVA puro e o “PVOH” apresentaram resultados favoráveis quando misturados com os pigmentos (homogeneidade e boa aplicabilidade). As misturas produzidas com o PVA/borato apresentaram aspecto gelatinoso, o que impede sua aplicação sobre o substrato. Sendo assim, PVA e “PVOH” foram as resinas adotadas neste estudo.

Teor de sólidos, viscosidade, consumo de dispersante e pH

A definição do teor de sólidos foi baseada em Uemoto e Silva (2005), que indica as faixas usuais para tintas látex:

(a) teor de sólidos total, 35,6% a 52,0% em massa; e

(b) teor de pigmentos, 30,0% a 45,9% em massa.

Para determinar as faixas ideais de viscosidade foram produzidas amostras de tinta com cada pigmento, variando-se as proporções dos componentes. Em seguida foram escolhidas as amostras que apresentavam viscosidade aparente similar à de tintas convencionais; por fim, as viscosidades foram medidas. Das medidas definiu-se o limite máximo de 400 cP como aceitável para a boa aplicabilidade das tintas produzidas com pigmentos de solos.

Para definir o consumo de dispersante, adotou-se o limite mínimo de 0 (zero) e o máximo aquele definido pelo ensaio de defloculação para cada pigmento. A adoção de um limite mínimo se deve ao interesse por avaliar o comportamento das misturas na ausência e em faixas intermediárias de consumo de dispersante (NaOH).

O pH ótimo para as emulsões de PVA está compreendido entre 4,5 e 5,5, de acordo com Yamak (2013), e entre 5,0 e 6,5 para o “PVOH”, conforme FAO (FOOD..., 2004). Neste estudo foi adotado o limite máximo de 5,5.

Definição dos limites de consumo dos componentes

As restrições experimentais que definiram os limites do intervalo de consumo de cada componente no delineamento foram identificadas nos ensaios preliminares. Os limites adotados para as formulações estudadas estão apresentados na Tabela 2. Os tipos de resina adotados (PVA ou “PVOH”) definiram os métodos de produção testados (Método 1 – M1 e Método 2 – M2).

Delineamento experimental

Para definir as misturas, elaborou-se um delineamento em vértices extremos de grau um, aumentado com pontos central e axiais. O delineamento em vértices extremos é um procedimento para conduzir experimentos quando os componentes das misturas impõem restrições quanto a suas proporções, ou seja, limites inferior e/ou superior (MCLEAN; ANDERSON, 1966).

Tabela 2 - Limites inferior e superior para os Métodos 1 e 2

Componente e método		Limite inferior (%)			Limite superior (%)		
		B	A	V	B	A	V
M1	a	56,69	56,24	56,39	64,29		
	P	28,57			28,57		
	b	0,00			0,45	0,90	0,75
	c	7,14			14,29		
M2	a	23,48	23,37	23,41	42,27	42,13	46,46
	P	26,56	26,46	26,49	26,56	26,46	26,49
	b	0,00			0,42	0,84	0,70
	c	6,64	6,61	6,62	13,28	13,23	13,25
	d	18,13	18,70	18,08	36,25	36,11	36,16

Nota: Legenda:

- a (água);
- P (pigmento);
- b (NaOH);
- c (PVA); e
- d (etanol).

Os delineamentos foram gerados pelo software Minitab 16. De acordo com o método de produção utilizado (1 ou 2) e a série (B, A e V), os agrupamentos de misturas foram denominados Subséries B1-14, A1-14 e V1-14 (Método 1) e Subséries B15-31, A15-31 e V15-31 (Método 2). Para o estudo das misturas, fixou-se a proporção de P (pigmento) e variaram-se as proporções de a (água), b (NaOH), c (PVA) e d (etanol).

Nos experimentos de misturas, apenas os fatores variáveis compõem as equações de regressão a serem geradas, ou seja, no caso em questão serão interpretadas as influências diretas das variações dos fatores a, b, c e d sobre as respostas com base em equações de regressão, enquanto as influências do fator P (pigmento) sobre as respostas serão interpretadas indiretamente, cruzando-se as características dos pigmentos com as respostas de pH, viscosidade e ensaios de desempenho.

Produção das misturas

Subséries B1-B14, A1-A14 e V1-V14

Preparação da solução de NaOH 2,5 mol L⁻¹

Foram pesados 10 g de NaOH em béquer de 25 ml; em seguida, transferiu-se o NaOH para balão volumétrico de 250 ml com o auxílio de um funil, adicionaram-se 100 ml de água e, por fim, agitou-se até solubilizar completamente o NaOH.

Produção da tinta

(a) verteu-se o pigmento diluído em béquer plástico de 1 L, corrigiu-se o teor de sólidos com a adição de água ou pigmento em pó e agitou-se por 5 min com disco Cowles a 3.000 rpm;

(b) foi adicionada a solução de NaOH ao pigmento diluído e agitou-se por 2 min com disco Cowles a de 3.000 rpm;

(c) adicionou-se o PVA e agitou-se por 5 min com disco Cowles a 3.000 rpm;

(d) por fim, as amostras foram transferidas para recipiente com capacidade de 750 ml e em seguida foram realizadas as medidas de viscosidade e pH;

(e) os recipientes foram lacrados, identificados e embalados para envio ao laboratório, para submissão aos ensaios de desempenho.

Subséries B15-B31, A15-A31 e V15-V31

Preparação do "PVOH"

De acordo com o método sugerido por Lewin e Pearce (1998):

(a) foi preparada a solução de NaOH 2,5 mol L⁻¹;

(b) em seguida, adicionou-se a solução de NaOH com o uso de pipeta ao volume de etanol separado em béquer plástico de 1 L e misturou-se por 2 min com disco Cowles a de 3.000 rpm; e

(c) por fim, foi adicionado o PVA à mistura de etanol e solução de NaOH, e novamente se misturou com disco Cowles a de 3.000 rpm, por 2 min.

Produção da tinta

(a) em um béquer plástico de 1 L, verteu-se o pigmento diluído, corrigiu-se o teor de sólidos com a adição de água ou pigmento em pó e agitou-se por 5 min com disco Cowles a 3.000 rpm;

(b) em seguida, foi adicionado o “PVOH” e agitou-se por 5 min com disco Cowles a 3.000 rpm;

(c) ao final, as amostras foram transferidas para recipiente com capacidade de 750 ml, e, em seguida, foram realizadas as medidas de viscosidade e pH; e

(d) os recipientes foram lacrados, identificados e embalados para envio ao laboratório, para submissão aos ensaios de desempenho (PCS, PCU e RAU).

Medição da Viscosidade e do pH

A viscosidade (V) foi medida ao final da produção de cada amostra, com viscosímetro de Brookfield. Foram realizadas três medidas em cada amostra, em intervalos de tempo definidos (5, 15 e 30 min) e temperatura de 25 °C, sendo adotado o resultado obtido na terceira medição. O pH final de cada amostra foi medido com pHmetro da marca Digimed modelo DM-23.

Ensaio de desempenho

Os requisitos avaliados foram: determinação do poder de cobertura da tinta seca (ABNT, 2012), determinação do poder de cobertura da tinta úmida (ABNT, 2003) e determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva (ABNT, 2004). Para fins desse estudo, os requisitos foram denominados PCS, PCU e RAU, respectivamente.

Os ensaios foram realizados pelo LENCO – Centro de Controle Tecnológico Ltda., credenciado pelo Inmetro, com recursos do projeto “Cores da Terra Pintando o Brasil”, financiado pela Finep (Convênio 01.11.0045.02).

Avaliação da estabilidade das suspensões

Consistiu em medir a viscosidade das tintas em intervalos de tempo definidos, com o objetivo de verificar a ocorrência de variações, conforme Jesus (2000). A viscosidade foi medida a 5, 15 e 30 min após a produção das tintas, e foram consideradas como estáveis aquelas que apresentaram variações de até ± 25 cP entre a primeira e a terceira medida.

Análise estatística

Após a obtenção das respostas para os pontos dos delineamentos experimentais, foram ajustados modelos polinomiais de mistura aos dados experimentais. Primeiro, ajustou-se aos dados experimentais o modelo cúbico completo, e na sequência os modelos de menor grau.

Os termos não significativos (p -valor $> 0,05$), partindo dos de maior para os de menor grau, foram retirados um a um, sendo realizada nova análise a cada termo retirado. Também se recorreu ao coeficiente de determinação (R^2), para verificar o ajustamento do modelo. A escolha entre o modelo linear e o quadrático foi baseada em sua capacidade de prever novas respostas, dada pela estatística PRESS e R^2 de predição. Todas as análises foram feitas no software estatístico Minitab 16.

Resultados e discussão

Caracterização física

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da caracterização física dos solos e dos pigmentos correspondentes.

Tabela 3 - Resultados da caracterização física

Parâmetro		B		A		V	
		S*	P**	S	P	S	P
Granulometria	Areia grossa (%)	1	0	1	0	13	0
	Areia fina (%)	1	0	1	1	11	1
	Silte (%)	26	27	40	45	6	15
	Argila (%)	72	73	58	54	70	84
	Classe textural	MA	MA	AS	AS	MA	MA
Argila dispersa em água (%)		20	28	1	1	1	2
Índice de dispersão (%)		20	38	1,72	1,85	1,19	2,85
Índice de floculação (%)		62	80	98,28	98,15	97,15	98,81
Superfície específica (m ² /g)		23,98	24,19	30,47	30,83	31,74	44,66

Nota: Legenda:

S*: Solo;

P**: Pigmento;

MA: Muito argilosa; e

AS: Argila siltosa.

A análise granulométrica comparativa entre os materiais solo e pigmento (Tabela 3) indica que com o processo de dispersão mecânica, promovido pelo disco Cowles, aliado ao peneiramento, foi possível praticamente eliminar a fração areia (fina e grossa) e incrementar as proporções de silte e/ou argila. O disco Cowles destruiu os agregados e aglomerados dos solos e expôs as partículas de menor tamanho ao meio. No caso da amostra B, o disco Cowles aumentou o teor de argila dispersa em água e reduziu o grau de floculação. Isso indica que maior proporção da argila total foi deslocada dos agregados e entrou em suspensão. No caso da amostra V, o disco Cowles aumentou a superfície específica das partículas. Dessa forma a área de contato das partículas com o meio aumentou.

Por outro lado, os altos valores do grau de floculação verificados nos pigmentos indicam uma tendência natural à floculação, o que é prejudicial para as tintas, uma vez que os materiais floculados tendem a se decantar no fundo dos recipientes, dificultando a operação de pintura, assim demandando a manutenção da dispersão com o uso de dispersante químico. De toda a forma, os efeitos do disco Cowles de aumentar o contato das partículas individualizadas com o meio elevam a possibilidade do recobrimento dessas pelas resinas no processo de produção das tintas, resultando em maior aderência às superfícies pintadas.

Caracterização química

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da caracterização química dos solos e dos pigmentos correspondentes.

A tendência de aumento da área de contato entre as partículas suspensas e o meio apresentada nas análises físicas está em sintonia com os resultados da caracterização química. O valor t , que representa a capacidade de troca catiônica total no pH natural do solo, aumentou em todas as amostras com a dispersão mecânica. Outro aspecto importante foi o aumento dos teores de bases trocáveis, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Uma explicação para

essa ocorrência pode ser que esses íons estavam adsorvidos no interior de agregados que foram dispersos fisicamente e se apresentaram para as soluções extratoras. A maior presença das bases trocáveis em solução altera a força iônica do Al^{3+} e do H^+ em solução, o que justifica a redução de seus teores.

Cor

De acordo com a Carta de Solos de Munsell (1975), o pigmento B apresentou matiz 10YR, valor 8 e croma 2. Essa cor é extremamente clara e indica que a fração argila predominante é caulínica. A contribuição da goethita é muito pequena. O pigmento A apresentou matiz 10YR, valor 7 e croma 8. Esse valor de croma indica que os teores de minerais com coloração amarela são significativos na fração argila do material A. O mineral oxídico que confere cor amarela aos solos tropicais é a goethita. O pigmento V apresentou matiz 2,5YR, valor 5 e croma 8. Nesse caso o matiz foi mais vermelho e intenso, indicado pelo croma alto. Esse matiz, acompanhado de alto croma, indica mineralogia oxídica com presença de hematita. Portanto, temos dois grupos de materiais, um com mineralogia caulínica (pigmento B) e outro com mineralogia oxídica (pigmentos A e V).

Desempenho

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados dos ensaios de desempenho e das medições de viscosidade e pH das tintas formuladas com os três pigmentos (B, A e V), de acordo com os Métodos 1 e 2.

Série B

Na Tabela 7 são apresentadas as equações de regressão das respostas explicadas pelo modelo estatístico.

Tabela 4 - Resultados da caracterização química

Parâmetro	B		A		V	
	S*	P**	S	P	S	P
pH H ₂ O	5,06	4,81	5,74	5,93	5,39	5,96
pH KCl	4,64	4,61	5,33	6,16	6,08	6,22
K ⁺ (mg/dm ³)	2	7	7	25	9	15
Ca ²⁺ (mg/dm ³)	0	0,38	0	1,27	0	1
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,01	0,08	0,22	0,21	0,05	0,2
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	3	0,88	0,1	0	0	0
H + Al (cmol _c /dm ³)	3,3	2	3,5	1,3	2,5	1,3
SB (cmol _c /dm ³)	0,02	0,48	0,24	1,54	0,5	1,24
t (cmol _c /dm ³)	1,32	1,36	0,34	1,54	0,5	1,24
V (%)	0,6	15,1	6,4	54,2	16,7	48,8

Nota: Legenda:

S*: Solo;

P**: Pigmento;

K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: Bases trocáveis;

H + Al: Acidez;

SB: Soma das bases;

t: CTC (Capacidade de Troca Catiônica) efetiva; e

V: Percentagem de saturação por bases.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de desempenho e medições de viscosidade e pH das tintas produzidas de acordo com o Método 1

Ident. e Método	B					A					V					
	PCS	PCU	RAU	V	pH	PCS	PCU	RAU	V	pH	PCS	PCU	RAU	V	pH	
M1	1	4	23	88	430	4	4	37	55	500	5	3	77	10	398	6
	2	3	27	200	985	4	4	36	93	2.400	5	4	69	496	280	6
	3	4	25	88	970	4	4	36	12	680	5	4	65	54	340	5
	4	4	23	26	390	4	3	35	22	900	5	4	69	319	250	5
	5	3	25	200	975	4	4	36	41	820	5	4	69	78	208	5
	6	5	42	6	3.100	4	5	38	35	900	7	4	67	102	860	6
	7	6	41	11	4.100	5	5	34	8	230	8	4	69	496	280	6
	8	5	43	27	2.800	5	5	37	22	280	7	4	75	32	310	7
	9	6	43	46	5.400	4	5	36	67	970	7	4	65	127	840	7
	10	5	41	10	3.000	5	4	34	23	390	6	5	71	93	840	7
	11	9	42	58	3.000	5	5	34	42	1.150	7	4	69	122	720	8
	12	8	45	95	8.600	4	5	33	73	735	8	4	67	33	780	7
	13	6	40	10	1.860	5	5	32	68	980	6	3	67	14	740	5
	14	5	43	5	415	6	4	34	262	1.100	6	4	76	42	800	7

Nota: Legenda:

PCS: m²/L;

PCU: %;

RAU: ciclos; e

V: cP (centipoises).

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de desempenho e medições de viscosidade e pH das tintas produzidas de acordo com o Método 2

Ident. e Método	B					A					V					
	PCS	PCU	RAU	V	pH	PCS	PCU	RAU	V	pH	PCS	PCU	RAU	V	pH	
M2	15	4	35	172	4.000	4	4	23	31	205	8	4	52	318	620	6
	16	6	39	117	2.400	5	4	29	304	225	7	4	26	50	460	7
	17	7	36	6	2.100	4	4	27	186	540	5	4	45	64	500	7
	18	4	33	16	2.100	5	5	29	45	278	7	3	35	118	520	7
	19	8	33	141	990	6	4	30	27	310	7	3	25	12	600	7
	20	7	41	89	5.800	4	4	32	169	355	7	3	39	55	180	7
	21	8	32	42	2.400	5	3	31	259	420	7	3	50	247	720	5
	22	7	33	15	275	6	5	27	11	230	8	4	40	95	600	6
	23	8	33	87	3.800	4	5	29	39	290	7	3	46	140	600	7
	24	10	34	18	2.100	5	6	30	15	195	6	4	26	161	500	6
	25	7	32	14	615	5	5	29	152	350	6	4	48	33	520	6
	26	6	32	7	390	6	5	26	29	175	6	3	20	141	220	7
	27	5	35	112	2.500	5	5	18	71	195	6	3	39	133	240	7
	28	6	34	15	2.200	5	5	23	28	235	6	4	33	84	255	7
	29	9	33	8	2.200	4	4	18	133	230	6	4	40	153	250	7
	30	8	34	60	3.000	5	5	22	43	200	6	4	38	50	580	7
31	5	33	13	1.000	5	4	20	66	170	8	3	41	85	520	7	

Nota: Legenda:

PCS: m²/L;

PCU: %;

RAU: ciclos; e

V: cP (centipoises).

Tabela 7 - Equações de regressão válidas para a Série B

Requisito	Subsérie	Equação de regressão	R ²
V	15-31	$\hat{y} = -3747a - 108833b + 57128c + 4043d - 2405879bc - 77968cd$	0,97
pH	1-14	$\hat{y} = 4,3a - 531,5b + 2,6c + 904,4ab$	0,97
pH	15-31	$\hat{y} = 4,3a - 462,4b + 3c + 4,3d + 708,3ab + 1027bd$	0,98
RAU	15-31	$\hat{y} = -188a + 4529881b + 1239c - 26d - 4540847ab - 4561747bc - 4571763bd$	0,9

Nota: Legenda:

a: Água;

b: Solução de NaOH;

c: PVA; e

d: Etanol.

Na Tabela 8 são apresentadas as tendências finais de consumo de cada componente das misturas produzidas com o pigmento B, de acordo com a interpretação das equações de regressão.

Apenas o pH das misturas 1-14 (Método 1) e a viscosidade, o pH e a RAU das misturas 15-31 (Método 2) foram influenciados pelos fatores estudados, como se pode verificar na Tabela 7, que apresenta as equações de regressão correspondentes.

Para o caso do Método 1 (vide Tabela 8), apenas com o pH sendo influenciado pelos fatores estudados, é impossível recomendar formulações satisfatórias. Da mesma forma, para o caso do Método 2 (vide Tabela 8), verificam-se tendências similares para os níveis dos fatores a, c e d, para

atender aos requisitos viscosidade e pH, e a tendência contrária dos níveis dos fatores a e c, para atender ao requisito RAU, o que igualmente impossibilita a indicação de formulações satisfatórias, sendo apenas três dos requisitos atendidos e impossível indicar formulações que atendam a todos simultaneamente.

Série A

Na Tabela 9 são apresentadas as equações de regressão das respostas explicadas pelo modelo estatístico.

Na Tabela 10 são apresentadas as tendências finais de consumo de cada componente das misturas produzidas com o pigmento A, de acordo com a interpretação das equações de regressão.

Tabela 8 - Tendências finais de consumo dos componentes das misturas produzidas com o pigmento B

Requisito	MÉTODO 1			MÉTODO 2			
	Misturas 1-14 – Fatores (%)			Misturas 15-31 – Fatores (%)			
	a	b	c	a	b	c	d
Viscosidade (cP)	-	-	-	41	0,6	9	49,4
pH	80	0	20	41,6	0	9	49,4
PCS (m ² /L)	-	-	-	-	-	-	-
PCU (%)	-	-	-	-	-	-	-
RAU (ciclos)	-	-	-	32,5	0	18,1	49,4

Nota: Legenda:

- a: Água;
- b: Solução de NaOH;
- c: PVA; e
- d: Etanol.

As porcentagens correspondem àquelas apresentadas na Tabela 2, descontando-se o fator pigmento, que, por ser fixo, não compõe as equações de regressão.

Tabela 9 - Equações de regressão válidas para a Série A

Requisito	Subsérie	Equação de regressão	R ²
V	15-31	$\hat{y} = 3305a+7357b-101830c+7057d+135977ac-28976ad+120546cd$	0,87
pH	1-14	$\hat{y} = 5,915a+187,831b+3,004c$	0,93
pH	15-31	$\hat{y} = 5,583a+ 201,843b+3,014c+6,658d$	0,87
PCS	1-14	$\hat{y} = 3a-19956b+9c+20371ab+19682bc$	0,8
PCS	15-31	$\hat{y} = 6a-57,33b-5,69c+6,89d$	0,82
RAU	15-31	$\hat{y} = 1358a-13498b-399c+1756d-6700ad+116142bc$	0,9

Nota: Legenda:

- a: Água;
- b: Solução de NaOH;
- c: PVA; e
- d: Etanol.

Tabela 10 - Tendências finais de consumo dos componentes das misturas produzidas com o pigmento A

Requisito	MÉTODO 1			MÉTODO 2			
	Misturas 1-14 – Fatores (%)			Misturas 15-31 – Fatores (%)			
	a	b	c	a	b	c	d
Viscosidade (cP)	-	-	-	39,3	0,9	15,7	44,1
pH	80	0	20	56,5	0	18	25,5
PCS (m ² /L)	86,4	0,9	12,7	57,3	0	9	33,7
PCU (%)	-	-	-	-	-	-	-
RAU (ciclos)	-	-	-	32,8	0,11	18	49,09

Nota: Legenda:

- a: Água;
- b: Solução de NaOH;
- c: PVA; e
- d: Etanol.

As porcentagens correspondem àquelas apresentadas na Tabela 2, descontando-se o fator pigmento, que, por ser fixo, não compõe as equações de regressão.

O pH e o PCS das misturas 1-14 (Método 1) e a viscosidade, o pH, o PCS e a RAU das misturas 15-31 (Método 2) foram influenciados pelos fatores estudados, como se pode verificar na Tabela 9, que apresenta as equações de regressão correspondentes.

Para o caso do Método 1 (vide Tabela 10), apenas com o pH e o PCS sendo influenciados pelos

fatores estudados, é impossível recomendar formulações satisfatórias. Da mesma forma, para o caso do Método 2 (vide Tabela 10), dadas as tendências discrepantes para os níveis dos fatores para o atender aos requisitos viscosidade, pH, PCS e RAU e o não atendimento ao requisito PCU, é impossível recomendar formulações que atendam a todos os requisitos simultaneamente.

Série V

A Tabela 11 apresenta as equações de regressão das respostas explicadas pelo modelo estatístico.

Na Tabela 12 são apresentadas as tendências finais de consumo de cada componente das misturas produzidas com o pigmento V, de acordo com a interpretação das equações de regressão.

A viscosidade, o pH e o PCS das misturas 1-14 (Método 1) e o pH das misturas 15-31 (Método 2) foram influenciados pelos fatores estudados, como se pode verificar na Tabela 11, que apresenta as equações de regressão correspondentes.

Para o caso do Método 1 (vide Tabela 12), apenas com a viscosidade, o pH e o PCS sendo influenciados pelos fatores estudados, é impossível recomendar formulações satisfatórias. Da mesma forma, para o caso do Método 2 (vide Tabela 12), dado o atendimento apenas ao requisito pH, é impossível recomendar formulações satisfatórias.

Considerações acerca do desempenho**Viscosidade**

A viscosidade foi controlada, principalmente, pelo fator a (água). Tal situação está relacionada à capacidade que cada pigmento possui de absorver água. Para os pigmentos A e V, em que as médias das viscosidades foram de 270,7 cP e 546,07 cP respectivamente, percebe-se que os níveis do fator a se aproximaram do satisfatório. Por outro lado, a média das viscosidades para os pigmentos V foi de 2227,7 cP, o que indica que os níveis do fator a devem ser elevados para diminuir as médias de viscosidade.

Cada pigmento possui uma capacidade diferente de absorver água, e isso está relacionado à forma predominante das partículas: as caulinitas possuem forma de lâminas, e os óxidos de ferro, formas esféricas/globulares. As lâminas, devido a sua maior superfície de contato, absorvem mais água que as esferas/glóbulos. Neste estudo, a faixa de consumo de água foi a mesma para os três pigmentos, o que explica o fato de o pigmento B, rico em caulinita, apresentar faixas mais elevadas de viscosidade.

Tabela 11 - Equações de regressão válidas para a Série V

Requisito	Subsérie	Equação de regressão	R ²
V	1-14	$\hat{y} = 193a - 16455976b + 1356c + 16638990ab + 16672841bc$	0,7
pH	1-14	$\hat{y} = 5,067a + 199,991b + 8,076c$	0,86
pH	15-31	$\hat{y} = 1,68a - 11,23b - 6,48c - 6,45d + 304,3ab + 30,32ad + 62,06cd$	0,92
PCS	1-14	$\hat{y} = 5a - 21165b - 1c + 21331ab + 21880bc$	0,77

Nota: Legenda:

- a: Água;
- b: Solução de NaOH;
- c: PVA; e
- d: Etanol.

Tabela 12 - Tendências finais de consumo dos componentes das misturas produzidas com o pigmento V

Requisito	MÉTODO 1			MÉTODO 2			
	Misturas 1-14 – Fatores (%)			Misturas 15-31 – Fatores (%)			
	a	b	c	a	b	c	d
Viscosidade (cP)	85	0	15	-	-	-	-
pH	80	0	20	57,3	0	18	24,7
PCS (m ² /L)	86,5	0,3	13,2	-	-	-	-
PCU (%)	-	-	-	-	-	-	-
RAU (ciclos)	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Legenda:

- a: Água;
- b: Solução de NaOH;
- c: PVA; e
- d: Etanol.

As porcentagens correspondem àquelas apresentadas na Tabela 2, descontando-se o fator pigmento, que, por ser fixo, não compõe as equações de regressão.

pH

Em todas as misturas, o pH foi influenciado pelos fatores estudados, e, em todas as situações, o fator b (solução de NaOH) foi o principal responsável pelas variações. O ajuste dos níveis dos fatores, considerando o limite superior para o pH igual a 5,5, indicou que o nível do fator b (solução de NaOH) deve ser igual a 0%, ou seja, os pH das misturas são adequados na ausência desse fator.

A função do fator b nas misturas foi de incrementar a dispersão dos pigmentos quimicamente. No entanto, percebe-se que, para utilizar o NaOH como dispersante, é necessário um controle mais rigoroso do processo de produção, tomando como referência não só seus efeitos sobre a dispersão dos pigmentos, mas também sua interação com os demais componentes das misturas.

Ao verificar as equações de regressão apresentadas nas Tabelas 6, 8 e 10, percebe-se que os coeficientes relacionados à variável b (solução de NaOH) são de ordem de grandeza muito superior aos das demais variáveis, o que indica que variações mínimas nas proporções de b acarretam grandes alterações nas respostas. Além disso, percebe-se que as tendências de consumo de b tenderam ao mínimo na maioria das misturas (vide Tabelas 7, 9 e 11), o que indica que esse fator exerceu influência negativa sobre o desempenho.

Poder de Cobertura da Tinta Seca (PCS)

Ao analisar as tendências de consumo de cada fator para o PCS (vide Tabelas 9 e 11, pigmentos A e V), percebe-se tendência ao consumo máximo de água para o atendimento ao limite mínimo especificado de 4 m²/L. Para os mesmos pigmentos, verificam-se faixas de viscosidade mais próximas do limite máximo especificado de 400 cP (vide Tabela 5). Portanto, considerando que a quantidade de água determina a viscosidade e que nos casos em que as faixas de viscosidade tenderam ao limite máximo verificou-se comportamento uniforme da resposta PCS, pode-se concluir que em baixas viscosidades são obtidas melhores respostas de PCS.

A maior diluição pode distribuir de maneira mais homogênea os pigmentos sobre o substrato sobre o qual se aplica a tinta para realizar o ensaio. Após a evaporação da água, os pigmentos cobrirão a superfície sem deixar muitos espaços vazios, o que resulta em maior razão de contraste e, logo, em maior PCS (INSTITUTO..., 2008).

Poder de Cobertura da Tinta Úmida (PCU)

A mesma discussão realizada nas considerações acerca do PCS, referente às características dos pigmentos, se aplica ao caso do PCU. A diferença está no fato de o PCU ser a medida do poder de cobertura da tinta ainda úmida, ou seja, com presença de água, situação que determina as diferenças de resultados entre os dois métodos de ensaio.

Dado que as medidas de PCS e PCU são feitas por refletância sobre fundos preto e branco, pode-se inferir que em meio úmido (PCU) os pigmentos estarão separados por filmes de água, o que permite que a luz penetre por entre partículas, alcance o substrato e reflita sua cor com mais facilidade, resultando em menor razão de contraste e, logo, em menor PCU (INSTITUTO..., 2008). Já em meio seco (PCS), estando as partículas em contato na ausência de água, a penetração da luz é dificultada, e a reflexão da cor do substrato será menor, o que resulta em maior razão de contraste e, assim, em maior PCS (INSTITUTO..., 2008).

Considerando que os únicos casos em que o limite mínimo para o PCU foi alcançado se deram com o pigmento V, que possui a maior superfície específica (vide Tabela 3) – e, logo, maior quantidade de partículas, sendo que se trabalhou com massas iguais para os três pigmentos –, pode-se inferir que o tamanho e a quantidade de partículas dispersas no meio determinam o PCU.

Outro fator a ser considerado é que, ao se avaliar o PCU em relação aos métodos de produção testados com os três pigmentos (B, A e V), percebe-se que para o Método 1 os resultados são mais favoráveis (vide Tabela 5). A diferença entre os métodos é a presença do fator d (etanol), que compõe o “PVOH”. Considerando que a habilidade de solvatação do etanol é menor que a da água, dada sua menor constante dielétrica (ϵ água = 78,3; ϵ álcool = 24,3), pode-se concluir que a água mantém as partículas mais próximas, diminuindo a penetração da luz durante a determinação do PCU.

Resistência à Abrasão Úmida sem Pasta Abrasiva (RAU)

Segundo Jefelicci Júnior e Varanda (2006), o aumento do pH aumenta a solubilidade do polímero (c), ao expor grupos OH⁻ e facilitar a interação com a água, o que é desejável, pois favorece o contato do polímero com o pigmento. No entanto, o sistema de emulsão do monômero do acetato de vinila é sensível a alterações de pH. O intervalo ótimo está compreendido entre 4,5 e 5,5 para o PVA (YAMAK, 2013) e entre 5,0 e 6,5 para o “PVOH” (FOOD..., 2004).

Ao verificar os pH das misturas que apresentaram RAU satisfatórias, confirma-se que, quanto maior o pH, menor a RAU. E, portanto, quanto mais altos os níveis do fator Y (solução de NaOH), menores as RAUs.

Na maioria das misturas que apresentaram resultados satisfatórios, os níveis do fator c (PVA) aproximaram-se do limite superior. Quando é utilizada uma quantidade de resina menor que a suficiente para envolver todas as partículas de pigmentos, ocorre a aglomeração e, assim, o surgimento de poros, que permitem a entrada de água e outros agentes que comprometem a resistência da película (CASTRO, 2009).

As misturas quaternárias foram as que apresentaram o maior número de resultados satisfatórios. Sendo o fator d (etanol) o que difere entre as misturas ternárias e quaternárias, infere-se que sua atuação em sinergia com o fator c (PVA) contribui com o aumento da resistência à abrasão.

Estabilidade das suspensões

A avaliação geral dos resultados indica que em nenhuma das misturas a viscosidade manteve-se estável entre medidas e que houve tendência geral de aumento da viscosidade para as três séries. Tal comportamento é típico dos fluidos não newtonianos ou pseudoplásticos, que diminuem a viscosidade quando submetidos a esforços de cisalhamento (SANTOS, 1975). No caso em questão, a viscosidade apresentou-se baixa quando medida imediatamente após a produção das tintas – submissão a esforços de cisalhamento – e, logo em seguida, apresentou valores mais elevados.

A Série A foi aquela que se manteve mais estável, com 48,40% das amostras com variações da viscosidade de até ± 25 cP. As Séries B e V apresentaram, respectivamente, 36,65% e 30,00%.

Para o caso das tintas produzidas com pigmentos de solos, dada a não padronização de tamanho e forma de partículas, a taxa e a tensão de cisalhamento são variáveis, o que promove a instabilidade da viscosidade.

No entanto, pode-se afirmar que as resinas PVA e “PVOH” incrementaram a estabilidade das suspensões de pigmentos, agindo como emulsificantes. Ao elevar a viscosidade das misturas, as resinas diminuíram as colisões entre partículas e retardaram a floculação e a sedimentação, o que é desejável para o caso das tintas.

Conclusões

Em nenhuma das séries foi possível obter formulações que atendessem a todos os requisitos de desempenho simultaneamente.

O equilíbrio da viscosidade está diretamente relacionado ao fator a (água), que deve ser equilibrado considerando-se as características morfológicas e físico-químicas de cada pigmento.

O pH, controlado pelo fator NaOH, mostrou-se como fator decisivo neste estudo, pois possui grande capacidade de alterar as respostas de desempenho e interfere diretamente sobre a polimerização do PVA, reduzindo a RAU. Sendo assim, devem-se reformular as misturas, considerando-se o pH final da interação entre todos os componentes, para assim calcular a quantidade de dispersante; ou, por outro lado, testar outros componentes que favoreçam a dispersão dos pigmentos sem elevar o pH para níveis em que a polimerização do PVA seja prejudicada.

PCS e PCU estão relacionados à morfologia das partículas e à viscosidade das misturas. Pode-se concluir que a boa diluição dos pigmentos no meio interfere sobre as respostas, favorecendo a distribuição das partículas sobre a superfície e, assim, seu recobrimento. O pigmento V possui maior superfície específica e também maior quantidade de partículas quando comparado aos demais, o que interferiu positivamente sobre o PCU. Logo, para alcançar o PCU mínimo com os demais pigmentos (B e A), será necessário aumentar o teor de pigmentos.

A RAU foi influenciada pelo pH, conforme mencionado acima. Nas situações em que a RAU foi satisfatória, a quantidade de PVA tendeu ao limite superior, o que indica que a quantidade de PVA e a influência do pH sobre sua polimerização foram decisivas neste estudo. Considerando que o PVA é o componente mais caro utilizado, deve-se buscar soluções que se beneficiem de todo o seu potencial, evitando o comprometimento de sua atuação sobre a resistência das tintas. Sendo assim, deve-se equilibrar a suspensão dos pigmentos sem que o pH alcance valor superior a 5,5.

A dispersão mecânica com o disco Cowles mostrou-se como uma alternativa promissora, por incrementar a estabilidade das suspensões de pigmentos de solos.

O uso do NaOH, na maioria das situações, contribuiu com a estabilidade das suspensões, interferindo diretamente sobre a viscosidade. No entanto, comprometeu a atuação do PVA e, logo, a resistência à abrasão. Para o caso do poder de

cobertura, também se verifica que o NaOH interferiu negativamente sobre as respostas.

O “PVOH” contribuiu com o incremento da estabilidade das suspensões, e as misturas em que foi aplicado (Subséries 15-31) apresentaram melhor desempenho quanto à resistência à abrasão. No entanto, quanto ao poder de cobertura, atuou de forma ambígua, em alguns casos a incrementando e em outros a reduzindo.

Em âmbito geral, o Método 2 foi o que apresentou os resultados mais favoráveis para as três séries estudadas.

A dispersão mecânica, o pH, o “PVOH” e a morfologia das partículas dos pigmentos determinaram os resultados obtidos por este trabalho, configurando-se como temas-chave a serem abordados em outros estudos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14942**: tintas para construção civil: método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais: determinação do poder de cobertura de tinta seca. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14943**: tintas para construção civil: método para avaliação de tintas para edificações não industriais: determinação do poder de cobertura de tinta úmida. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15078**: tintas para construção civil: método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais: determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15079**: tintas para construção civil: especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais. Rio de Janeiro, 2011.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, p. 309-319, 1938.

CAMPOS, C. E. B. **Indicadores de Campo Para Solos Hidromórficos do Planalto de Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

CARDOSO, F. P.; CARVALHO, A. F.; FONTES, M. P. F. Resistência à Abrasão de Tintas Imobiliárias Produzidas Com Pigmentos Obtidos Por Dispersão Mecânica de Solos. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1., Guimarães, 2014. **Anais...** Guimarães: Universidade do Minho, 2014.

CASTRO, C. D. **Estudo da Influência das Propriedades de Diferentes Cargas Mineraias no Poder de Cobertura de Um Filme de Tinta**. Porto Alegre, 2009. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CORRÊA, G. F. **Modelo de Evolução e Mineralogia da Fração Argila de Solos do Planalto de Viçosa**. Viçosa, 1984. 87 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

DAGNINO, R. P. **Tecnologia Social**: ferramenta para construir outra sociedade. Campinas: Unicamp, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 1999.

FONTES, M. P.; CARVALHO, A. F.; CARDOSO, F. P. **Qualidade de tintas Imobiliárias Produzidas à Base de Solos Relacionada às Propriedades Mineralógicas, Químicas e Físicas**. Viçosa, 2013. Relatório.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Polyvinyl Alcohol**: chemical and technical assessment, first draft prepared by S. K. Saxena. In: JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES, 61., 2004. **Proceedings...** 2004.

GOMES, C. M. *et al.* Defloculação de Massas Cerâmicas Triaxiais Obtidas a Partir do Delineamento de Misturas. **Cerâmica**, v. 51, p. 336-342, 2005.

HOUAISS: Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. **Tabatinga**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa de Análise de Produtos**. Relatório sobre análise em tintas imobiliárias látex econômicas. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tintasImobiliarias.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2015.

JAFELICCI JUNIOR, M.; VARANDA, L. C. O Mundo dos Coloides. **Química Nova na Escola**, v. 9, p. 9-13, 1999.

JESUS, C. **Reologia em Tintas Aquosas**: estudo realizado no âmbito do PRODEP. Portugal: Horquim, 2000.

LEWIN, M.; PEARCE, E. M. **Handbook of Fiber Chemistry**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1998.

MCLEAN, R. A.; ANDERSON, V. L. Extreme Vertices Design of Mixture Experiments. **Technometrics**, v. 8, p. 447-454, 1966.

MUGGLER, C. C. *et al.* **Conteúdos Básicos de Geologia e Pedologia**. Viçosa, 2005. Notas de aula do curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa.

MUNSELL, A. H. **Munsell Soil Color Charts**. Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975.

NAIME, U. J. **Caracterização de Solos de Terraços nas Zonas da Mata e Rio Doce, Minas Gerais**. Viçosa, 1988. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

RUIZ, H. Incremento da Exatidão da Análise Granulométrica do Solo Por Meio da Coleta da Suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1975. v. 1: Fundamentos.

UEMOTO, K. L.; SILVA, J. **Caracterização de Tintas Látex Para Construção Civil**: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. Boletim Técnico.

VIEIRA, A. F. C.; DAL BELLO, L. H. A. Experimentos Com Mistura Para Otimização de Processos: uma aplicação com respostas não normais. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, set./dez. 2006.

YAMAK, H. B. **Emulsion Polymerization**: effects of polymerization variables on the properties of vinyl acetate based emulsion polymers. 2013. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/polymer-science>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFV, pela oportunidade de cursar o mestrado; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado; e à Finep, pelo financiamento da pesquisa, via projeto Cores da Terra Pintando o Brasil.

Fernando de Paula Cardoso

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Viçosa | Av. P.H. Rolfs, s/n, Campus Universitário | Viçosa - MG - Brasil | CEP 36570-000 | Tel.: (031) 3899-2765 | E-mail: fernando.cardoso@ufv.br

Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Viçosa | E-mail: ritadecassia@ufv.br

Anôr Fiorini de Carvalho

Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias | Universidade Federal de Viçosa | Tel.: (031) 3899-2630 Ramal 1049 | E-mail: afiorini@ufv.br

Maurício Paulo Ferreira Fontes

Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias | Universidade Federal de Viçosa | Tel.: (31) 3899-2630 Ramal 1057 | E-mail: mpfontes@ufv.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br