

ANÁLISE METROLÓGICA DE UM NOVO SISTEMA DE MEDIÇÃO AUTOMATIZADA DE VISCOSIDADE DE TINTAS PARA MÁQUINAS DE ROTOGRAVURA EM FILMES FLEXÍVEIS

*Valdir Noll*¹, *André de Sousa*², *Silvana Rosa Lisboa de Sá*³, *Thiago Japur Paes Barreto*⁴, *Gilmar Coelho*⁵

¹ IF-SC, Florianópolis, Brasil, vnoll@ifsc.edu.br

² IF-SC, Florianópolis, Brasil, asousa@ifsc.edu.br

³ IF-SC, Florianópolis, Brasil, srlisboa@ifsc.edu.br

⁴ IF-SC, Florianópolis, Brasil, thiagojapu@gmail.com

⁵ PLASC, Florianópolis, Brasil, gcoelho@plasc.com.br

Resumo: A crescente concorrência no mercado de embalagens flexíveis motivou as indústrias da área em busca de alternativas que proporcionam ao produto final um custo menor para a produção e, desta forma, agregando valor final ao produto. A tinta hoje empregada para impressão das embalagens colabora com um percentual de aproximadamente 10% no valor final, e seu controle se torna imprescindível, evitando-se, assim, desperdícios.

O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um novo sistema automatizado de medição e controle da viscosidade de tintas aplicados em máquinas de impressão para filmes flexíveis. É apresentado um protótipo, seu funcionamento para medir a viscosidade, a avaliação metrológica da medição e, por fim, é visto a ação de controle da viscosidade da tinta em tempo real.

Palavras chave: automação da medição, viscosidade, tintas.

1. INTRODUÇÃO

As tintas estão presentes em quase todos os bens que fazem parte do mundo atual, conferindo, principalmente, propriedades estéticas e protetoras. São encontradas revestindo paredes, móveis, eletrodomésticos, carros, rótulos de refrigerantes, etc. Embora o consumidor tenha noção do desempenho que determinada pintura deva ter, ele dificilmente conhece a tecnologia empregada no desenvolvimento, produção e aplicação destes materiais.

A tinta é composta por pigmentos em uma solução de resina. A resina é o agente formador de filme e normalmente se encontra dissolvida em um solvente orgânico. Os pigmentos são partículas coloridas, insolúveis na solução de resina, responsáveis pelas propriedades de cor e opacidade [1].

Além do solvente da resina outros solventes são geralmente adicionados a fim de reduzir a viscosidade da tinta a valores que facilitem a sua manipulação e utilização. Outros materiais são adicionados em pequenas quantidades, os aditivos, de modo a conferir características especiais à tinta [5].

O controle de qualidade das tintas pode compreender desde testes simples até testes complexos, como as de avaliação do uso final do produto, impactando diretamente no tempo de ciclo de produção. Na grande maioria dos casos, os principais parâmetros controlados são cor, brilho e viscosidade. Assim, a indústria de tinta trabalha com um estágio de ajustes, isto é, um processo de tentativa e erro, antes de liberar a produção. O acerto da cor é feito normalmente comparando a cor do lote com a cor de uma referência, e adicionando-se concentrados de pigmento em combinações e teores adequados de modo a aproximar o lote a cor da referência. O acerto do brilho, que não é tão freqüente, consiste na adição de resina ou fosqueador, de modo a aumentar ou diminuir o brilho, respectivamente. O acerto da viscosidade é feito através da adição de solvente e/ou tinta dependendo se a viscosidade está, respectivamente, acima ou abaixo da faixa especificada.

O processo de medição da viscosidade de tintas em chão de fábrica mais executado é o método manual, conforme mostra a Figura 1. O operador, com auxílio de um cronômetro, mede o tempo que a tinta escoar por um copo especial, denominado copo Zahn. De acordo com a leitura observada do tempo, o operador adiciona ou não solvente manualmente no reservatório de tinta para corrigir a viscosidade. Esse procedimento é feito varias vezes até o acerto total da viscosidade dentro de medidas máximas e mínimas pré-definidas pelo setor de qualidade.



Fig. 1 - Método de medição manual

Este método manual apresenta, naturalmente, uma incerteza de medição muito alta, devido ao fato de que depende do operador, de seu estado físico (mais cansado ou menos), do momento em que ele liga/desliga o cronômetro, dentre outros fatores. Muitas vezes é necessário repetir o teste por falta de confiabilidade. O resultado é um impacto econômico negativo, pois uma medida errada leva a perda de tinta ou solvente por adição desnecessária e um maior tempo na produção. Visando solucionar esse tipo de problema, propôs-se uma estratégia de medição e controle da viscosidade de maneira automática, em tempo real, que resultou num protótipo de um equipamento, com um conceito simples, porém novo no mercado.

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Foi desenvolvido um protótipo seguindo a metodologia de desenvolvimento de produto proposto pelo PRODIP/UFSC [6], até chegar ao protótipo final. Após as definições dos clientes do projeto, foram definidas as suas necessidades, que foram diagnosticadas através de entrevistas. Foram necessárias aproximadamente seis entrevistas com cada cliente classificado, seguindo um guia de entrevistas que assegurasse que não se fugisse ao objetivo proposto. Após realizar as entrevistas e com auxílio dos participantes do projeto foram identificadas as principais necessidades dos clientes. Destacam-se as seguintes: possui uma IHM (interface humano-máquina) simples de operar, ser de fácil manutenção e operação, ter robustez, ter facilidade de manutenção, ser de baixo custo, ser totalmente nacionalizado, que realize de maneira automática o processo de medição e controle da viscosidade da tinta.

De posse dos principais requisitos, gerou-se três concepções, que após análise, definiu-se que uma delas é melhor. A concepção escolhida é apresentada na Figura 2, composta basicamente de um dispositivo de medição, bombas pneumáticas, reservatório de tinta, e válvulas elétricas para direcionar o fluido para o dispositivo de medição ou para a máquina de impressão. A ideia é que, em tempo real, durante a utilização da tinta, no mesmo ambiente industrial, seja feito a medição e controle da viscosidade.

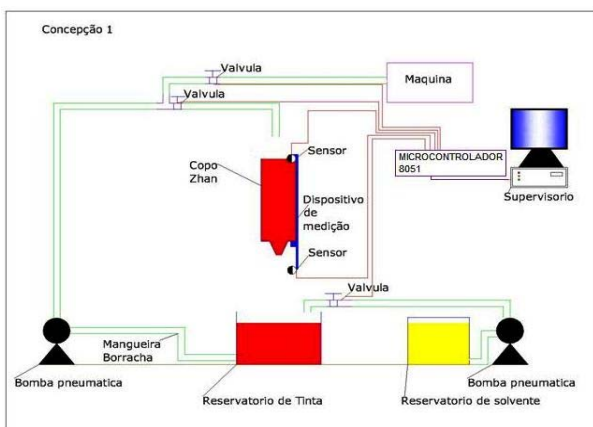


Fig. 2 - concepção escolhida.

2.1. Protótipo do sistema de medição e controle

O protótipo desenvolvido pode ser dividido em três módulos: hidráulico-pneumático, eletro-eletrônico e software. No módulo hidráulico-pneumático foram determinados alguns componentes, baseando-se nos custos e na qualidade dos mesmos, chegou aos seguintes componentes: bomba de circulação pneumática, válvulas direcionais, filtros, mangueiras, válvula de retenção, válvula reguladora de fluxo. O esquema de ligação completo é mostrado na Figura 3.

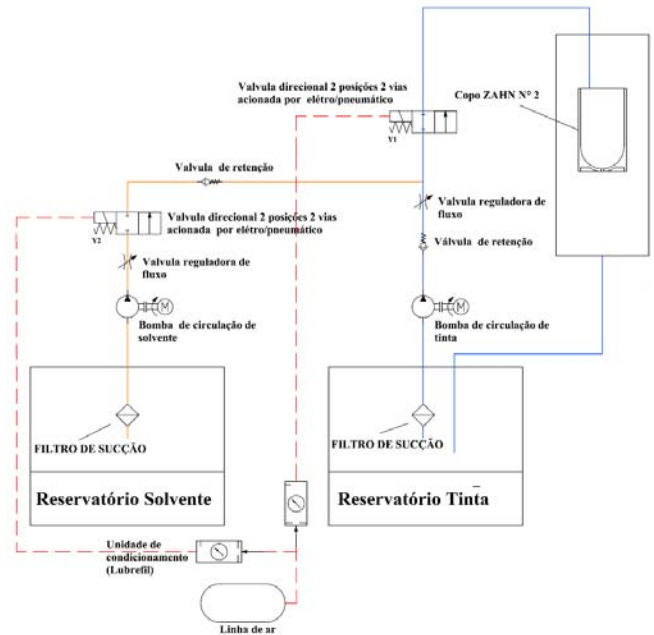


Fig. 3 - Esquema do módulo pneumático-hidráulico.

Para alimentar o módulo eletro-eletrônico foi desenvolvida uma fonte de corrente contínua de 24V/50W. A parte de controle digital é composta de um microcontrolador, teclado, display, sensores fotoelétricos, e as bobinas das eletroválvulas. Além desses circuitos, foi também desenvolvido um circuito com optoacopladores para isolar sinais vindos dos sensores fotoelétricos, evitando ruídos e isolando a parte de comando da parte de potência.

O conjunto montado é mostrado na Figura 4, onde se pode ver a disposição dos componentes principais: o copo Zhan dentro do encaixe preciso dos sensores (detalhado na Figura 5), as bombas pneumáticas, e o gabinete elétrico (mostrado internamente em detalhe na Figura 6).



Fig. 4 - Aparato de teste montado.

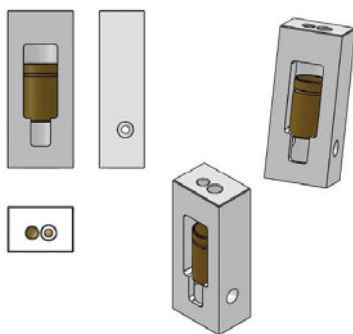


Fig. 5 - Visão 3D do suporte do dispositivo de medição.

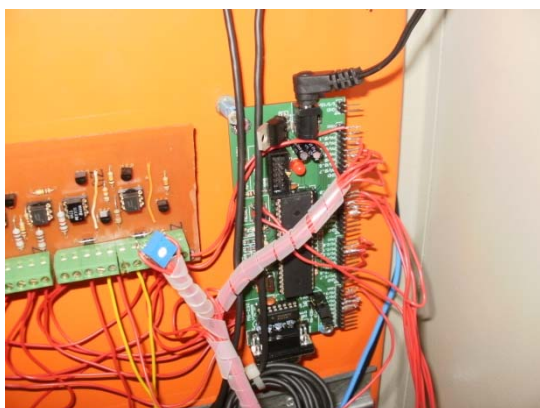


Fig. 6 - Visão interna do gabinete elétrico de controle.

O módulo de software desenvolvido (em linguagem de programação C) tem a função de tornar automático o processo de medição e controle, e ainda interagir os resultados com o usuário do sistema por meio do display de LCD. O fluxograma mostrado na Figura 7 apresenta o funcionamento do sistema. Primeiro é feita a configuração do sistema reconhecendo os principais componentes presentes, em seguida é dado algum tempo para entrar no modo automático. Se nesse tempo o usuário apertar o botão de medição manual, o processo opera manualmente, caso contrário o processo de medição e controle é feito automaticamente, de tempos em tempos. A medição é efetuada e baseado no tempo de escoamento é determinado a viscosidade. Baseada na viscosidade e no volume do reservatório de tintas, é calculada a quantidade de solvente necessário para fazer a diluição da tinta. É aberta a válvula elétrica que permite o escoamento do solvente para dentro do recipiente de tintas. A homogeneização é constante, e após um tempo de espera é refeita o processo de medição.

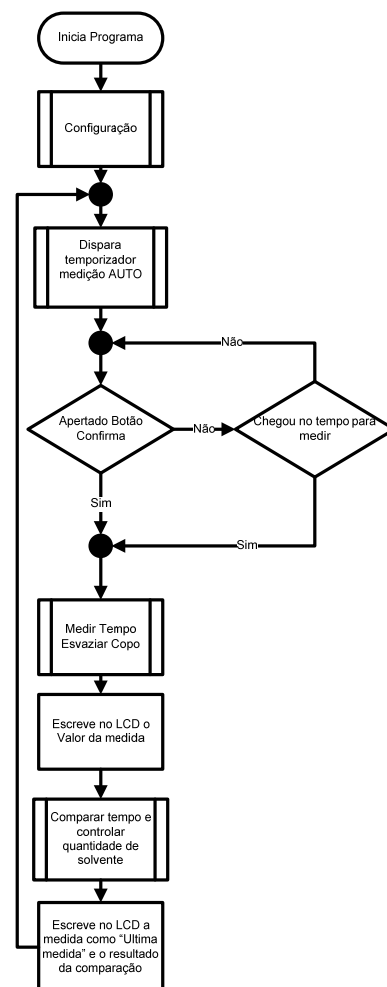


Fig. 7 - Fluxograma principal de funcionamento.

3. MEDIÇÃO E CONTROLE DA VISCOSIDADE

A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento, definida como a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento. No caso de líquidos ideais, também chamados de newtonianos, esta razão é constante, isto é, a viscosidade é independente da taxa ou da tensão de cisalhamento. É o caso de líquidos compostos por moléculas pequenas miscíveis, soluções de resinas em solventes verdadeiros e dispersões em partículas rígidas em um fluido newtoniano, desde que não haja interações partícula-partícula [1].

Para automatizar o controle da viscosidade da tinta é necessário, primeiro, definir o valor de incerteza expandida do sistema de medição. Antes, porém, detalhe-se no item seguinte a maneira de determinar a viscosidade.

3.1. Detalhamento do método de medição da viscosidade.

Para muitas aplicações não é necessário conhecer a viscosidade absoluta de um sistema de impressão. Um parâmetro que permita uma classificação e uma estimativa relativa é muitas vezes suficiente. O período de influxo, medido em segundos, tem se mostrado uma medida prática. Esse período de tempo é determinado com o uso de copos de escoamento de diversos formatos. Seguindo normas internacionais e locais, estes copos comportam um volume

definido de líquido que flui através de um orifício. O copo de escoamento infere a viscosidade do fluido a partir do tempo gasto para esvaziar o reservatório (o copo). É um método simples e rápido e que requer um pequeno volume de amostra de fluido [4] e, apesar de medir somente a viscosidade de fluido a temperatura ambiente ele é bastante adequado para fluido, como tintas e vernizes.

O princípio de funcionamento baseia-se na equação de Poiseuille [4]. Assim, o princípio operacional do copo é similar ao do viscosímetro capilar. Em primeira aproximação pode-se supor um regime de escoamento “quase permanente” durante o esvaziamento do copo e ainda desprezar qualquer perda no copo. Assim, somente as perdas no escoamento através do orifício, onde a velocidade é maior, serão consideradas. Os fabricantes de copos Zahn especificam uma curva de tempo em função da viscosidade, mostrada na Figura 8. Com os dados do fabricante e por regressão linear, calcula-se a equação da reta (Equação 1) que determina o valor da viscosidade cinemática, a 25°C, para qualquer ponto entre 15s e 60s.

$$v = 3,7037t - 11,111 \quad (1)$$

Onde:

v = viscosidade em centistokes (cSt).

t = tempo em segundos.

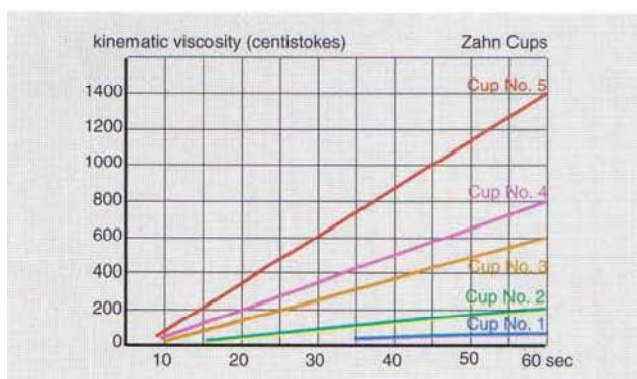


Fig. 8 - Curva tempo versus viscosidade.

A Figura 9 mostra em detalhes como se dará a medição. O microcontrolador aciona uma eletroválvula e uma bomba de vácuo, enchendo automaticamente um copo do tipo Zahn, sensorado por dois sensores de nível: um superior e outro inferior.

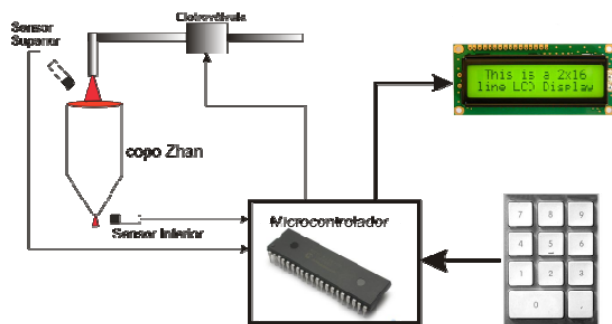


Fig. 9 - Diagrama de Blocos do Sistema de Medição.

Quando o sensor superior detecta que o copo está cheio, fecha a abertura de entrada de tinta e desliga a bomba de

vácuo. Dispara também um temporizador (dentro de um sistema microcontrolado baseado no AT89S8253 da Atmel®). Quando ocorre a primeira gota (escoamento completo da tinta), gera um sinal que interrompe o temporizador. O tempo total entre a detecção do copo cheio e do copo vazio fornece o tempo de escoamento. Com esse tempo e com a curva do fabricante do copo, calcula-se a viscosidade do fluido.

3.2 – calibração

Para fins de avaliação do sistema proposto foram realizadas 20 medições em laboratório, com temperatura controlada de 25±1 °C, de um fluido de viscosidade semelhante à tinta. Foi usado o óleo mineral OP35 IPT80, certificado N° 1428-103, que tem a densidade de 0,8656 g/cm³, à 25°C, com incerteza de 0,25%. Com este óleo é que são calibrados os copos de escoamento modelo Zahn N° 2, que, de acordo com o certificado emitido pela empresa Isolabor Omicron, a incerteza expandida aumenta para 0,40%, com K=2 e nível de confiança de 95%. De acordo com o fabricante do óleo mineral, com este óleo e o copo Zahn N° 2, o tempo de escoamento esperado é de 35s mais a incerteza de 0,40%, resultado em 35±0,14s.

Ajustou-se o protótipo para que os sensores detectassem quando o copo estava completamente cheio, para reproduzir as mesmas condições usadas na calibração do copo. Espera-se com este experimento calibrar a distância dos sensores.

Foram realizadas as medições após o ajuste efetuado, cujos resultados são mostrados na Figura 10.

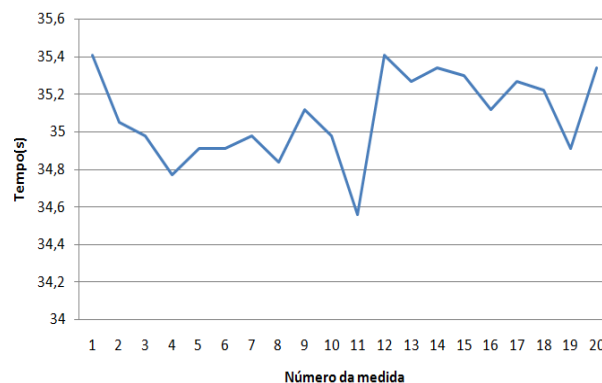


Fig. 10 - Tempo de escoamento do óleo mineral.

Para essas medidas, a média obtida foi de 35,09s e o desvio padrão 0,24s. A repetitividade é de 0,47s (para k=2). Considerando a repetitividade como fonte de incerteza predominante, o resultado obtido foi de 35,09±0,47s, que representa uma incerteza percentual de 1,34%.

3.3 - Controle automatizado da viscosidade

Para controlar a viscosidade da tinta no processo industrial, mede-se a viscosidade e verifica-se a mesma está dentro de uma faixa aceitável. Na indústria, esses limites são definidos pelo setor de qualidade, em termos de tempo de escoamento máximo e tempo de escoamento mínimo, levando-se em conta a temperatura atual da fábrica e os

requisitos do controle de qualidade executado durante a impressão.

Tendo colocado tinta no reservatório de tinta, e adotando o valor de referência como 14s com tolerância de $\pm 1s$, verificou-se que o sistema mede e corrige a viscosidade para manter a tinta dentro da faixa desejada. Inicialmente observou-se que a viscosidade estava acima do permitido e o sistema adicionou uma quantidade de solvente tal que manteve a viscosidade dentro dos limites estabelecidos até a oitava medida, quando, por evaporação, a viscosidade novamente saiu do limite de referência superior. Com isso o sistema voltou a adicionar solvente. Os dados estão na Tabela 1 e na Figura 11.

Tabela 1. Comportamento para uma referência de 14 \pm 1s.

Medida	Leituras(s)	Condição
1	15,14	Adicionado Solvente
2	14,86	Dentro dos limites
3	14,93	Dentro dos limites
4	15,00	Dentro dos limites
5	14,93	Dentro dos limites
6	14,58	Dentro dos limites
7	14,79	Dentro dos limites
8	15,30	Adicionado Solvente
9	14,79	Dentro dos limites
10	14,83	Dentro dos limites

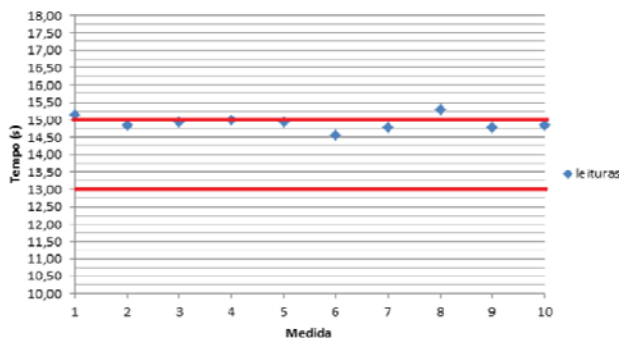


Fig. 11 - Comportamento para uma referências de 14 \pm 1s.

Variando-se a referência imediatamente para 13s com tolerância de $\pm 1s$, o sistema novamente iniciou a correção da viscosidade adicionando solvente várias vezes até atingir os limites desejados. Os dados podem ser vistos na Tabela 2 e na Figura 12.

Tabela 2. Comportamento para a referencia para 13 \pm 1s.

Medida	Leituras(s)	Condição
1	15,43	Adicionado Solvente
2	14,72	Adicionado Solvente
3	15,07	Adicionado Solvente
4	14,08	Adicionado Solvente
5	14,15	Adicionado Solvente
6	13,58	Dentro dos limites
7	13,44	Dentro dos limites
8	13,51	Dentro dos limites
9	13,58	Dentro dos limites
10	13,44	Dentro dos limites

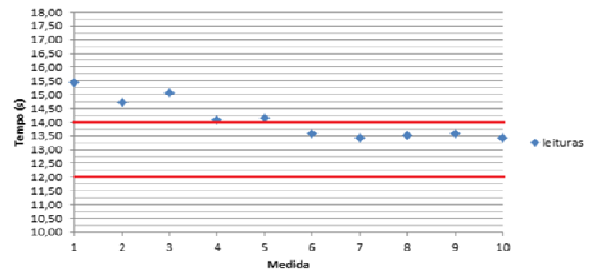


Fig. 12- Comportamento para uma referência de 13 \pm 1s.

4. CONCLUSÕES

O protótipo apresentou bons resultados no processo de medição da viscosidade automatizada. Por comparação, pode-se verificar que a viscosidade apresenta uma tendência de medir 0,09s a mais, e que a incerteza expandida é de apenas 1,34%. Esses resultados se mostraram bastante animadores, e indicam que o sistema de medição executa satisfatoriamente a medição automatizada e atende as necessidades de medição e controle da viscosidade de tintas em ambiente industrial.

Ao iniciar o processo de medição da viscosidade da tinta e a sua correção automática, verificou-se que as leituras ficam próximos ao limite superior. Essa ação é intencional, pois a quantidade de solvente adicionado automaticamente, através da programação, é um valor mínimo tal que mantenha o sistema nessa condição. Prefere-se demorar um pouco mais para diminuir a viscosidade do que ultrapassar o valor de referencia mínimo, uma vez que o sistema somente pode corrigir a falta de viscosidade e não a viscosidade excessiva. Como o solvente é bastante volátil, a tendência é que, com o passar de alguns minutos, se houver excesso de viscosidade, naturalmente o sistema se torna menos viscoso.

O tempo para correção de adição de solvente é uma variável que está associada a proporção do reservatório, e por isso define-se uma constante no inicio do programa para permitir diferentes níveis de reservatórios. Observa-se também que é muito importante a utilização de um dispositivo de agitação (agitador) para misturar a tinta com o solvente, visando não mascarar os resultados.

Por fim, verificou-se por observação que a temperatura é uma variável muito importante para o processo, pois quanto maior for a temperatura, maior será o número de correção que o aparato tende a executar para manter a viscosidade dentro de uma faixa limite.

Para trabalhos futuros pretende-se explorar o fato de que, devido à velocidade da medição, pode-se realizar várias medições e obter, estatisticamente, um valor mais próximo do verdadeiro (caso em que se queira uma tolerância mais estrita). Além disso, pode-se medir a variável temperatura no controle da viscosidade e o próprio sistema determinar o tempo de escoamento para diferentes temperaturas, ao invés de ser, como é atualmente, um valor entrado pelo usuário.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IF-SC pelo apoio institucional, especialmente pela Pró-reitoria de Pesquisa e Extensão e à empresa PLASC Embalagens pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- [1] Z.W.WICKS; N.Jones, N.Frank; S. P. Papas. *Organic coating, science and technology* . USA, John Wiley & Sons, 1992.
- [2] T. CHAFER. *Industrial coatings: production, application and industrial uses*. Alemanha: Verlag moderne industrie AG&CO. ,1990.
- [3] J. M. R. FAZENDA. *Tintas e vernizes : ciência e tecnologia*. São Paulo. Abrafati,1993.
- [4] R.S.BRODKEY. *The phenomena of fluid motions*, Addison-wesley. 1967.
- [5] LÓPES, José C. *Conceptos fundamentales de las pinturas*. Dissertação. Barcelona: formació continuada –Le Heres, 1997.
- [6] BACK, Nelson; OGLIARI, André; Dias, Acires; DA SILVA, Jony Carlos. *Projeto integrado de produtos*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: Manole, 2008
- [7] ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. *Fundamentos de metrologia científica e industrial*. São Paulo: Manole, 2008.