

VALDECIR JORGE APARECIDO LEONARDO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA SECAGEM COM
MICROONDAS DE TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA
EMULSIONADA EM ÁGUA UTILIZADA NA SINALIZAÇÃO
HORIZONTAL VIÁRIA**

**SÃO CAETANO DO SUL
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

VALDECIR JORGE APARECIDO LEONARDO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA SECAGEM COM
MICROONDAS DE TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA
EMULSIONADA EM ÁGUA UTILIZADA NA SINALIZAÇÃO
HORIZONTAL VIÁRIA**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de Pesquisa: Projeto de Processos Químicos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius

Co-Orientador: Prof. Dr. José Thomaz Senise

**SÃO CAETANO DO SUL
2009**

Leonardo, Valdecir Jorge Aparecido

Contribuição ao estudo da secagem com microondas de tinta à base de resina acrílica emulsionada em água utilizada na sinalização horizontal viária / Valdecir Jorge Aparecido Leonardo. – São Caetano do Sul, SP : Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, 2009

XXX p.118

Dissertação de mestrado – Orientador Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius e Co-orientador Prof. Dr. José Thomaz Senise – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2008.

1. tempo secagem 2. microondas 3. tinta base de água
4. sinalização horizontal 5. resina acrílica I. Título.

VALDECIR JORGE APARECIDO LEONARDO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA SECAGEM COM
MICROONDAS DE TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA
EMULSIONADA EM ÁGUA UTILIZADA NA SINALIZAÇÃO
HORIZONTAL VIÁRIA**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de Pesquisa: Projeto de Processos Químicos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius

Co-Orientador: Prof. Dr. José Thomaz Senise

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius
Orientador

Escola de Engenharia Mauá

Prof. Dr. José Thomaz Senise

Co-Orientador

Escola de Engenharia Mauá

Prof. Dr. Guglielmo Taralli

Escola Politécnica da USP

Prof. Dr. Roberto de Aguiar Peixoto

Escola de Engenharia Mauá

SÃO CAETANO DO SUL
2009

Aos meus pais por sempre terem me mostrado o caminho da retidão, aos meus filhos que têm sido motivo de muito orgulho na minha vida e à minha esposa que desde quando nos conhecemos sempre me deu todo apoio em meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais Hermenegildo e Rosa que, apesar das dificuldades impostas pela origem interiorana e pela escuridão do analfabetismo, sempre acreditaram que um homem precisa seguir o caminho da honestidade e nunca deixaram de me dar apoio à minha formação como cidadão e em meus vários anos de estudo.

Ao meu sogro Victorino (in memoriam) e Lucinda que foram meus escolhidos para serem meus segundos pais.

À minha querida esposa Sandra que desde que nos conhecemos sempre esteve ao meu lado, dando todo apoio e incentivo aos meus estudos, à minha vida profissional e, também, pela dedicação na criação e formação de nossos filhos e, evidentemente, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus filhos Jussara e Fabio pelo senso de responsabilidade e por me encherem de orgulho quando dizem que vão seguir a minha carreira.

A todos os colegas do Instituto Mauá de Tecnologia que sempre acreditaram na minha capacidade e que de alguma forma sempre me incentivaram nessa e em tantas outras empreitadas, quer como ainda aluno da graduação, quer como funcionário, quer como aluno na pós-graduação.

Ao Professor Paulo Sérgio Colli Bógus que no ano de 1983 foi meu professor na disciplina Mecânica Vibratória e desde então passou a ser um referencial na minha vida profissional e mais tarde um apoiador na minha carreira dentro do Centro de Pesquisas do Instituto Mauá.

À Rejane Gonçalves de Souza Vieira, secretária da Diretoria do Centro de Pesquisas, por todo seu conhecimento na utilização de aplicativos de editoração que muito contribuíram para a elaboração deste documento e ainda pelo incentivo que tem me dado para a conclusão do mestrado.

À Maria Margareth Marques, secretária da Coordenadoria da Pós-Graduação, pela amizade de tantos anos e pelo apoio e ajuda que sempre com muito bom humor me foram prestados. Tudo

isso contribuiu de forma significativa para que eu conseguisse vencer essa batalha que não foi nada fácil.

Ao técnico do Laboratório de Microondas Luis Fernando Baccan e Silva pela ajuda na montagem de dispositivos necessários aos ensaios com aplicação de microondas e pela contribuição na realização dos ensaios.

Ao técnico do Laboratório de Ensaios e Análises José Carlos Pereira pela contribuição na realização dos ensaios e, também, pela análise dos resultados.

Ao Sr. Lauro Ferreira pela montagem das várias versões dos equipamentos para a aplicação de microondas.

À Engenheira Silva Cristina Mugnaini pelos conhecimentos, passados a mim, relativos às tintas de sinalização viária, conhecimentos relativos ao aspecto laboratorial e ao trabalho de campo. Esses conhecimentos possibilitaram um grande aprendizado na área.

Ao colega Químico Hélio Antonio Moreira pelo material bibliográfico e pela colaboração com a cessão de todas as amostras de tintas para os ajustes de equipamentos e de procedimentos, bem como para a realização dos ensaios finais.

Ao Professor José Thomaz Senise que quando Diretor da EEM em 1973 possibilitou meu ingresso como funcionário e acesso ao mundo da engenharia e, agora, por todo ensinamento na co-orientação deste meu trabalho.

Ao Professor Luiz Alberto Jermolovicius que contribuiu de maneira significativa durante a minha graduação, tendo sido meu orientador no estágio obrigatório e agora por toda dedicação nas discussões relativas aos procedimentos de ensaios, concepções dos equipamentos para os ensaios, pela orientação do trabalho e por todo ensinamento e incentivo.

Às minhas irmãs, aos meus amigos e a todos da minha família que me apoiaram e incentivaram e a Deus que acredito estar sempre presente na minha vida, guiando meus passos.

*Leva tempo para alguém ser bem sucedido
porque o êxito não é mais do que a
recompensa natural pelo tempo gasto em fazer
algo direito (Joseph Ross)*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o estudo da redução do tempo de secagem do filme de tinta destinada à sinalização horizontal, pela aplicação de micro-ondas, sem prejuízo do atendimento dos requisitos da norma NBR 13699 (ABNT). O resultado deste estudo representa a consequente redução do tempo de interdição de rodovias em decorrência da atividade de aplicação de tinta destinada à sinalização horizontal. Para atingir o objetivo proposto, foi realizado, em laboratório, estudo experimental para testar a viabilidade técnica deste projeto. A tinta escolhida para este trabalho foi na cor branca à base de resina acrílica emulsionada em água. A escolha dessa tinta considerou o impacto menor que ela causa ao meio ambiente, pois não contém compostos orgânicos voláteis em sua formulação e, conseqüentemente, deixa de agredir o meio ambiente durante sua fabricação e durante a sua secagem. Os resultados indicaram que a aplicação de micro-ondas propiciou significativa redução do tempo de secagem do filme de tinta, que passou de 8 minutos, em condições usuais de ensaios, para 3min40s e, ainda, que todos os requisitos da norma NBR 13699 continuaram sendo plenamente atendidos.

Palavras chave: secagem, microondas, tinta base de água, sinalização horizontal, resina acrílica.

ABSTRACT

The aim of this work was the reduction of the drying time of the paint film using microwaves respecting specifications of NBR 13699 (ABNT). The result of this study represents the consequent reduction of the interdiction time in highways caused by road surface marking activity. To reach this end, experimental studies were developed in laboratory to test the technical viability of this project. The paint chosen for this work was of white water acrylic emulsion. The choice of this kind of paint was made considering the less impact it causes to the environment because its formulation does not contain volatile organic compounds and, consequently, does not attack the environment during its manufacturing or drying. The results indicated that de microwaves application caused a significant reduction in the drying time of the paint film, from 8 minutes, in usual trial conditions, to 3min40s and that all NBR 13699 requisites were absolutely fulfilled.

Key words: drying, microwaves, water based paint, road surface marking, acrylic resin.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO	18
3	JUSTIFICATIVA	19
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1	Sinalização rodoviária.....	22
4.2	Tinta líquida.....	28
4.2.1	<i>HISTÓRIA DA TINTA</i>	28
4.2.2	<i>DEFINIÇÃO</i>	30
4.2.3	<i>FORMAS DE APLICAÇÃO DE TINTAS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL</i>	32
4.2.4	<i>CONTROLE DA QUALIDADE.....</i>	34
4.2.5	<i>COMPONENTES DA TINTA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL.....</i>	34
4.3	Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água	39
4.3.1	<i>COMPONENTES DA FORMULAÇÃO ADOTADA</i>	41
4.3.2	<i>USO DE TINTAS À BASE DE ÁGUA</i>	42
4.3.3	<i>VANTAGENS DA TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA EMULSIONADA EM ÁGUA.....</i>	44
4.4	Microondas.....	46
4.4.1	<i>RADIAÇÃO POR MICROONDAS</i>	46
4.4.2	<i>ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO</i>	47
4.4.3	<i>TIPOS DE MATERIAIS E RELAÇÃO COM MICROONDAS</i>	51
4.4.4	<i>AQUECIMENTO POR MICROONDAS (29).....</i>	53
4.4.5	<i>QUANTIFICAÇÃO DO AQUECIMENTO POR MICROONDAS (29).....</i>	55
4.4.6	<i>UTILIZAÇÃO SEGURA DE MICROONDAS</i>	57
4.4.7	<i>APLICAÇÃO DE MICROONDAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS.....</i>	59
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	63
5.1	Materiais.....	63
5.2	Equipamentos	65
5.3	Métodos	69
5.3.1	<i>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</i>	69
5.3.2	<i>ENSAIOS PRELIMINARES.....</i>	73
5.3.3	<i>ENSAIOS EFETIVOS</i>	74

5.3.4	<i>SECAGEM NO PICK-UP TIME</i>	75
5.3.5	<i>CONTROLE DA QUALIDADE DA TINTA DO LOTE</i>	77
5.3.6	<i>CONTROLE DA QUALIDADE DO FILME DA TINTA ACRÍLICA À BASE DE ÁGUA PARA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL</i>	77
5.3.7	<i>PREPARAÇÃO DE PAINÉIS</i>	79
5.3.8	<i>DELINEAMENTO ESTATÍSTICO</i>	80
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
6.1	Influência das microondas sobre o tempo de secagem da tinta acrílica à base de água para sinalização horizontal	83
6.2	Análise de regressão aplicada aos resultados do tempo de secagem	84
6.3	Controle da qualidade do lote da tinta empregada	93
6.4	Influência das microondas sobre a qualidade do filme da tinta acrílica a base da água para sinalização horizontal	95
6.4.1	<i>IMAGENS DOS PAINÉIS APÓS ENSAIOS</i>	96
6.4.2	<i>COMPARATIVO DOS RESULTADOS</i>	102
7	CONCLUSÃO	105
7.1	Discussão sobre a viabilidade técnica	105
7.2	Discussão relativa à viabilidade econômica	107
	REFERÊNCIAS	109
	ANEXO A - BOLETIM TÉCNICO PARA O PRODUTO ACQUAPLAST	113
	ANEXO B - FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA O PRODUTO ACQUAPLAST	115

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Liberação da via antes da secagem da sinalização horizontal.	20
Figura 02 - Exemplo de sinalização vertical – suspensa sobre a via.....	23
Figura 03 - Exemplo de sinalização vertical – à margem da via.....	24
Figura 04 - Exemplo de sinalização horizontal – cor branca	25
Figura 05 - Exemplo de sinalização horizontal – cor amarela	25
Figura 06 - Exemplo de sinalização semafórica.....	26
Figura 07 - Sinalização horizontal com elementos de refletorização	27
Figura 08 - Tinta líquida.....	31
Figura 09 - Aplicação de tinta com equipamento apropriado	32
Figura 10 - Pintura manual com pistola.....	33
Figura 11 - Pintura manual com rolo e trincha (faixa de pedestres).....	33
Figura 12 - Controle da qualidade da tinta no momento da aplicação	34
Figura 13 - Representação gráfica do espectro eletromagnético.....	47
Figura 14 - Representação de uma onda eletromagnética	49
Figura 15 - Material transparente a microondas.....	52
Figura 16 - Material refletor de microondas (opaco)	52
Figura 17 - Material dielétrico.....	53
Figura 19 - Princípio de ação das microondas.....	54
Figura 20 - Esquema de um forno de microondas.....	58
Figura 21 - Forno de microondas contínuo para vulcanização de borracha.....	60
Figura 22 - Forno de microondas de batelada para sinterização	61
Figura 23 - Forno de microondas contínuo para sinterização	61
Figura 24 - Forno de microondas contínuo para cerâmica	62
Figura 25 - Cavidade multimodal em batelada.....	67
Figura 26 – Detalhamento da cavidade utilizada no presente estudo.....	68
Figura 27 - Vista interna da cavidade multimodal em batelada utilizada neste estudo.....	69
Figura 28 - Dispositivo auxiliar para aplicação de tinta.....	70
Figura 29 - Pick-time.....	76
Figura 30 - Painel de vidro	78
Figura 31 - Painel de folha de flandres.....	78
Figura 32 - Painel de alumínio	79

Figura 33 - Painéis de vidro, alumínio e folha de flandres submetidas à microondas	80
Figura 34 – Gráfico das variáveis de ensaio segundo a equação quadrática obtida.....	92
Figura 35 - Tempo de secagem no <i>pick up time</i> – extensor de 0,4 mm	97
Figura 36 - Tempo de secagem no <i>pick up time</i> – extensor de 0,4 mm (UR de 90%)	97
Figura 37 - Brilho a 60°	98
Figura 38 - Resistência à abrasão, L.....	98
Figura 39 - Cor Munsell	99
Figura 40 - Flexibilidade: fissuras, descolamento	99
Figura 41 - Resistência à água	100
Figura 42 - Resistência ao calor	100
Figura 43 - Resistência a gasolina, 2h	101
Figura 44 - Resistência ao intemperismo (400h) – cor e integridade.....	101
Figura 45 - Painel padrão para comparação	102
Figura 46 - Demarcação horizontal - eixo e bordo de pista.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Cronologia do aparecimento de novos polímeros ou tecnologias na indústria de tintas.....	30
Tabela 02 - Comparativo entre os tipos de resinas empregadas na fabricação de tintas para demarcação horizontal.....	35
Tabela 03 - Exemplos de carga.....	37
Tabela 04 - Composição da tinta objeto do estudo.....	39
Tabela 05 - Propriedades da água.....	41
Tabela 06 - Vida esperada para tintas de demarcação horizontal.....	45
Tabela 07 - Custos, no Brasil, para tintas de demarcação horizontal.....	45
Tabela 08 - Faixas de frequência.....	48
Tabela 09 - Energias relativas a moléculas de compostos químicos (5).....	51
Tabela 10 - Frequências de microondas permitidas para fins industriais.....	51
Tabela 11 - Características da tinta.....	64
Tabela 12 - Poder de Cobertura.....	64
Tabela 13 - Massa de tinta aplicada.....	71
Tabela 14 - Delineamento experimental – ETAPA FATORIAL.....	81
Tabela 15 - Delineamento experimental – ETAPA PONTO CENTRAL E EM ESTRELA ...	82
Tabela 16 – Resultados – ETAPA FATORIAL, PONTO CENTRAL E ESTRELA.....	83
Tabela 17 - Regressão quadrática para a característica “tempo de secagem”.....	86
Tabela 18 – Cálculo dos erros dos parâmetros da regressão.....	90
Tabela 19 – Cálculo do t de <i>Student</i>	90
Tabela 20 – Cálculo do $F_{crít}$	91
Tabela 21 - Melhor combinação dos parâmetros de ensaio.....	92
Tabela 22 – Resultados dos ensaios sem aplicação de microondas.....	94
Tabela 23 – Resultados dos ensaios com aplicação de microondas.....	96
Tabela 24 – Comparativo dos resultados.....	103

1 INTRODUÇÃO

Quando se discute o transporte rodoviário, principal meio de transporte de cargas e de passageiros no Brasil, a segurança torna-se item prioritário, pois evitar acidentes é fator de economia e de melhoria da qualidade de vida.

A contínua evolução tecnológica automobilística resulta em melhoria dos veículos automotores, com o conseqüente aumento da sua velocidade máxima. Em decorrência, há o aumento da probabilidade de acidentes nas vias urbanas e rodovias, resultando em eventual aumento do número de vítimas fatais. Nos Estados Unidos, 85% dos acidentes rodoviários são atribuídos a falhas humanas. No Brasil, os números são análogos (1). A prevenção desses acidentes requer, entre outras medidas, uma boa sinalização das vias públicas. Estes fatos, aliados ao crescimento da frota de veículos não compatível com a evolução da capacidade da malha viária, tornam a sinalização rodoviária de suma importância.

A segurança do usuário de vias públicas, condutores e pedestres depende, além de um bom projeto e construção responsável, de uma sinalização viária eficiente. A sinalização, se bem projetada, pode reduzir consideravelmente a probabilidade de erros dos motoristas que, muitas vezes, falham por falta de informações sobre a estrada, ou seja, de sinalização adequada.

Para minimizar a ocorrência de acidentes em vias urbanas e rodovias, muitos esforços são empreendidos na busca contínua de soluções que possibilitem a adequação das vias à frota atual, tanto no tocante ao número de veículos, como à tecnologia automotiva a eles permanentemente incorporada.

No contexto, a sinalização é fator de muita importância na segurança rodoviária, principalmente para um país como o Brasil que tem uma extensa malha rodoviária, que em termos de rodovias pavimentadas soma uma extensão da ordem de 200.000 quilômetros entre rodovias de pistas simples e de pistas duplas, além de inúmeras vias urbanas. Para melhorar seu desempenho, a sinalização deve ser continuamente modernizada do ponto de vista de materiais, tecnologias de aplicação, dentre outros fatores, e, sobretudo, deve sofrer manutenção preventiva e não apenas manutenção corretiva.

Entretanto, a realização de trabalhos de manutenção das rodovias e vias urbanas requer a interrupção do fluxo de veículos, o que gera grandes congestionamentos que são um

transtorno e desconforto para o usuário, em decorrência da inevitável demora das obras.

Uma das atividades de manutenção de estradas é a reconstituição da sinalização horizontal que consiste, basicamente, na aplicação de novo material de sinalização sobre o anterior.

As concessionárias de rodovias e prefeituras possuem, dentre outros, um problema especialmente ligado à sinalização horizontal: o tempo necessário para a secagem da tinta quando da sua aplicação.

Por se tratar de um processo moroso, este tempo necessário para liberação da pista de rodagem cria o problema associado ao custo da insatisfação do usuário decorrente da interrupção do fluxo viário normal.

O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um processo de secagem da tinta de sinalização horizontal que permitisse uma redução do tempo de interrupção das vias, com rápida liberação ao tráfego de pistas recém pintadas. Para essa finalidade, procurou-se desenvolver um procedimento de secagem da tinta com aplicação de microondas, sem prejuízo à sua qualidade de demarcação.

2 OBJETIVO

A dissertação ora apresentada tem por objetivo verificar a viabilidade técnica da redução do tempo de secagem, pela aplicação de microondas, de filme de tinta empregada na sinalização horizontal durante a operação de pintura de pistas de rodagem.

Trata-se, efetivamente, do desenvolvimento de um processo para avaliar a cura da resina acrílica emulsionada em água, que constitui a base de alguns tipos de tinta de sinalização horizontal, de forma a liberar a pista ao tráfego no menor tempo possível, e com a restrição de que não haja perda da qualidade do filme curado, agora um “agente de demarcação”.

O presente trabalho foi desenvolvido com foco em uma das tintas mais utilizadas na sinalização horizontal que é a tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, na cor branca, e em conformidade com a norma ABNT NBR 13699 (2).

A norma ABNT NBR 13699 especifica as características exigíveis no recebimento de tintas à base de resina acrílica emulsionada em água, destinadas à sinalização horizontal viária, fornecidas separadamente das microesferas de vidro.

O desafio foi reduzir o tempo de cura do filme deste tipo de tinta. Para isso a tinta foi submetida à exposição de microondas em condições previamente estabelecidas.

Ainda, no presente trabalho foi considerado como tempo de secagem, ou tempo de cura, o tempo necessário para que a tinta aplicada atinja o estágio de cura que permita a liberação do tráfego sem que a sinalização seja danificada. O tempo de secagem foi determinado por meio de ensaio em laboratório, em conformidade com norma técnica ABNT, porém cabe ressaltar que no campo este tempo pode variar em função da espessura de tinta aplicada, da temperatura do pavimento e da umidade relativa do ar.

3 JUSTIFICATIVA

As vias pavimentadas, dependendo do fluxo de veículos, necessitam da sinalização em sua extensão para auxiliar os usuários durante seus trajetos.

A execução da sinalização horizontal se faz necessária não somente quando se trata de uma via recém construída e pavimentada, mas também quando da manutenção da via com recomposição do pavimento (reparos localizados ou recapeamento de longos trechos), ou mesmo em situação de desgaste da sinalização sem que tenha havido a manutenção do pavimento.

As vias submetidas à manutenção passam por um período de interdição. Além do tempo exigido para a manutenção do pavimento, quando for o caso, as vias permanecem interditadas para a execução da sinalização horizontal e grande parte do tempo de interdição da via, durante a execução da sinalização horizontal, é devida ao tempo de espera para a secagem da tinta aplicada que, dependendo da tinta utilizada, pode ser superior a 30 minutos. Durante o período em que a via fica interditada ao tráfego geram-se congestionamentos e retardos por desvios de rota que redundam em custos adicionais. O prejuízo do usuário é de difícil quantificação, mas é incontestável que, em termos qualitativos, é um grande incômodo. Em decorrência desse fato, faz-se necessário minimizar este tempo de interdição da via e, para tanto, empreendemos o presente estudo, visando a redução do tempo de secagem da tinta para valores inferiores aos já conseguidos com a utilização das formulações existentes, irradiando-a com microondas.

As empresas concessionárias do segmento de estradas têm dado preferência a produtos que minimizam o impacto ambiental, como é o caso deste tipo de tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, pois as exigências do ponto de vista ambiental do poder público e da própria sociedade são cada vez mais restritivas.

Portanto, a escolha da tinta à base de resina acrílica emulsionada em água para este trabalho deveu-se a esse fato, pois ela não apresenta produtos tóxicos em sua formulação e não agride o meio ambiente, nem durante a fabricação e nem durante a secagem da tinta. Isto não acontece com as tintas à base de solventes orgânicos que, tanto na sua fabricação como durante sua aplicação e cura, contaminam o meio ambiente devido à evaporação do seu solvente.

A comprovação de que a aplicação de microondas reduz o tempo de secagem da tinta, atendendo aos requisitos da norma ABNT NBR 13699, poderá impactar sensivelmente a tecnologia da sinalização horizontal, a ponto de justificar uma proposição à Comissão de Estudos de Marcas Viárias – CE-16:006.02 do Comitê Brasileiro de Transporte e Tráfego - CB-16 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para aprofundamento desse estudo e, quiçá, alteração da norma ABNT NBR 13699.

Se, na aplicação em campo, não for respeitado o tempo exigido para a liberação do tráfego, muitos problemas poderão ocorrer. Os problemas podem ser desde pequenas marcas nas novas faixas, até a perda de todo o trabalho de demarcação.

Nesse caso, além da perda da sinalização, haverá a necessidade de limpeza do pavimento para a aplicação de nova sinalização.

Um exemplo do que pode ocorrer com a liberação do tráfego antes de decorrido o tempo necessário para tal liberação pode ser visto na Figura 01.



Figura 01 - Liberação da via antes da secagem da sinalização horizontal.
Fonte: (3)

Cabe ressaltar que não foram encontrados, no estado da técnica, trabalhos publicados análogos a este estudo, ou seja, a cura com microondas de filme de tinta à base de água para aplicação em sinalização horizontal. Os trabalhos mais próximos ao objetivo proposto tratam da cura de tintas, vernizes e adesivos com radiação com luz ultravioleta.

A tecnologia de cura de resinas com radiação ultravioleta vem conquistando espaço em diversos tipos de aplicações, com um crescimento estimado de 15 a 20% ao ano para o Brasil e uma grande vantagem deste processo é a não liberação de solventes para a atmosfera, uma vez que essas formulações são 100% sólidas e requerem a presença de uma estrutura química na formulação da resina que permita ser ativada por radiações ionizantes, iniciando a cura (4).

Infelizmente as tintas utilizadas na sinalização horizontal são emulsões líquidas de alta viscosidade e não sólidas como as tintas curadas com radiação ultravioleta.

No processo de cura de tinta com microondas, objetivo deste trabalho, há a vantagem que a tinta utilizada é um produto comercial largamente aplicado na sinalização horizontal viária e nela não há a necessidade de acrescentar componentes específicos para possibilitar a cura com radiação por microondas, diferentemente das tintas que curam com ultravioleta que, para tanto, necessitam da presença do fotoiniciador.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Sinalização rodoviária

A sinalização rodoviária é item importante da segurança rodoviária. Registros históricos apontam que os egípcios faziam uso de mistura de resinas, pigmentos e areias para sinalizar horizontalmente suas estradas. Os romanos colocavam tijolos ou pedras no centro das estradas para manter as carruagens em sua mão de direção. Os Incas e Astecas chegaram a sinalizar, com setas e outros sinais, a superfície de suas estradas (5).

A primeira demarcação moderna que se tem notícia foi em 1921 nos Estados Unidos, por Edward Himes, um comissário de estradas de Michigan. Ele pintou a mão uma faixa preta no entorno de uma quadra em Madison, porque o departamento de estradas deduziu que a faixa manteria o tráfego de maneira organizada na via (5).

No final da década de 1940, início de 1950, a sinalização horizontal começou a ter expressão significativa, pois as marcações disciplinavam o fluxo de veículos automotores, outros veículos como os de tração animal e os pedestres (5).

A sinalização rodoviária atualmente é dividida em sinalização temporária e sinalização permanente e, além da sinalização horizontal, a sinalização rodoviária evoluiu para sinalização vertical e semaforica.

A sinalização temporária é realizada com os mesmos sinais e marcas da sinalização permanente, porém trata-se de uma sinalização que é utilizada temporariamente, até que a sinalização permanente seja efetivada. Está sinalização é muito empregada em vias que estão em fase final de implantação, ou em vias que estão sendo submetidas a algum tipo de manutenção e que estão parcialmente liberadas ao usuário (6).

A sinalização permanente é aquela realizada considerando a liberação definitiva da via ao usuário. A sinalização permanente é composta por placas, painéis, marcas no pavimento e elementos auxiliares. A sinalização permanente se constitui em um sistema de dispositivos fixos de controle de tráfego que, por sua simples presença no ambiente operacional de uma via, regula, adverte e orienta seus usuários (6).

A sinalização pode ser subdividida, como dito anteriormente, em sinalização vertical, sinalização horizontal e sinalização semafórica.

- Sinalização vertical: é a comunicação visual estabelecida por meio de placas, painéis ou dispositivos auxiliares, posicionados na vertical, suspensos sobre a via, ou à margem dela. A sinalização vertical tem como função a regulamentação do uso da via, a advertência para situações potencialmente perigosas ou problemas do ponto de vista operacional, o fornecimento de indicações, orientações e informações aos usuários, além do fornecimento de mensagens educativas.

Na Figura 02 é apresentado um exemplo de sinalização vertical instalada de forma suspensa a via.



Figura 02 - Exemplo de sinalização vertical – suspensa sobre a via

Na Figura 03 é, também, apresentado um exemplo de sinalização vertical, só que agora instalada à margem da via.



Figura 03 - Exemplo de sinalização vertical – à margem da via

- Sinalização horizontal: é constituída por meio de marcações ou de dispositivos auxiliares implantados sobre o pavimento da estrada e tem como principais finalidades canalizar os fluxos de tráfego e suplementar a sinalização vertical. Outro aspecto muito importante é a função orientadora para o tráfego noturno, fornecendo ao usuário a delimitação das faixas de rolamento. Este último motivo é a razão para que novos segmentos de pista ou recém recapeados jamais sejam liberados ao tráfego sem que tenha sido implementada a sinalização horizontal, ainda que temporária. A sinalização horizontal é amplamente utilizada tanto em rodovias como em perímetro urbano. Várias cores podem ser utilizadas na sinalização horizontal, mas as cores básicas empregadas nesse tipo de sinalização são o branco e o amarelo.

A Figura 04 mostra um exemplo de sinalização horizontal executada em rodovia com tinta na cor branca e a Figura 05 mostra um exemplo de sinalização horizontal executada, também, em rodovia só que com tinta na cor amarela.



Figura 04 - Exemplo de sinalização horizontal – cor branca
Fonte: (3)



Figura 05 - Exemplo de sinalização horizontal – cor amarela
Fonte: (3)

- Sinalização semafórica: constitui-se em valioso instrumento para controle do fluxo e segurança do tráfego de veículos e de pedestres. Sua utilização deve estar baseada em estudo detalhado de engenharia de tráfego, levando em consideração a operação do tráfego no local, as características das vias envolvidas, a ocorrência de pedestres, e, principalmente, o ambiente operacional (Figura 06).



Figura 06 - Exemplo de sinalização semafórica

As marcações executadas no pavimento destinadas à composição da sinalização horizontal são constituídas por conjunto de linhas longitudinais, transversais ou diagonais, contínuas ou não, símbolos e legendas de diversos tipos, pintados no pavimento ou a ele aplicados por processo a quente ou a frio. Para que seja possível sua visualização também no período noturno, são incorporados à tinta os denominados elementos de refletorização (6) (Figura 07).



Figura 07 - Sinalização horizontal com elementos de refletorização
Fonte: (3)

Vários materiais podem ser utilizados para a execução da sinalização horizontal. Dependendo de fatores como o tipo de pavimento e o volume médio de tráfego - VDM - a sinalização a ser implantada pode ser executada com termoplásticos (extrudados ou spray), com películas pré-fabricadas ou com tinta (5).

Cabe ressaltar que os materiais utilizados na sinalização rodoviária são objetos de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. No caso dos materiais para a sinalização viária, incluída a sinalização horizontal, o trabalho de normalização é tratado no âmbito do Comitê Brasileiro de Transporte e Tráfego - CB-16, por meio da Comissão de Estudos de Marcas Viárias – CE-16:006.02.

4.2 Tinta líquida

Por muitos séculos, as tintas foram empregadas pelo seu aspecto estético. Mais tarde, quando introduzidas em países do norte da América e da Europa, onde as condições climáticas eram mais severas, o aspecto proteção ganhou mais importância. Sua utilização nas áreas de higiene e iluminação é resultado da ciência e da mecânica moderna. Também, com a evolução tecnológica e crescimento do transporte por via terrestre, houve a necessidade de organizar esse meio de locomoção e a tinta passou a desempenhar o importante papel de sinalização viária.

4.2.1 HISTÓRIA DA TINTA

Desde a pré-história, com as pinturas em cavernas, o homem se colocou em constante busca de inovações para melhor expressar sua criatividade através do uso das tintas.

A primeira manifestação humana que estará de alguma forma relacionada com o tema tintas e vernizes é, sem dúvida, a pintura de animais e cenas de caça nas paredes das cavernas, as mais antigas das quais foram recentemente descobertas em cavernas usadas por trogloditas, há mais de 20.000 anos atrás. Desta forma, pode arriscar-se dizer-se que o paleolítico foi o berço da “tecnologia” das tintas (7).

Watin, em 1773, foi o primeiro a descrever tecnicamente a indústria de tintas e vernizes como a conhecemos hoje. Copal e âmbar eram as principais resinas durante a época da Revolução Americana. As resinas e óleos eram fermentados antes da incorporação, para purificá-los. Terpenteno era empregado como diluente e os pigmentos eram moídos com uma grande pedra de forma cilíndrica (8).

As primeiras fábricas de verniz foram estabelecidas na Inglaterra, em 1790; na França, em 1820; na Alemanha, em 1830 e na Áustria, em 1843. Mas a Grã-Bretanha e a Holanda foram as primeiras a produzir vernizes com técnicas mais apuradas. J. Wilson Neil, em 1833, foi o primeiro a fornecer detalhes para a produção de verniz. Um dos produtos por ele descritos era

fabricado numa proporção de oito libras de resina para dois ou três galões de óleo de linhaça (8).

A revolução industrial foi, sem dúvida, o fato singular que maior pressão exerceu para o desenvolvimento da tecnologia de tintas e vernizes (7).

A moderna indústria de tintas e vernizes teve, de fato, o seu nascimento no início do século XX. Transformou-se de uma indústria quase artesanal numa indústria altamente sofisticada, quer em termos técnicos, quer em termos estruturais. Este desenvolvimento gigantesco deveu-se, sobretudo, a dois fatores:

- aparecimento e desenvolvimento extraordinário da química orgânica que permitiu a produção, por via sintética, de muitos produtos já conhecidos e a produção de novos produtos;
- aumento da procura de tintas e vernizes por indústrias que necessitam proteger os seus produtos antes de colocá-los no mercado.

Nesse relato histórico da aplicação de tintas é importante destacar que nos últimos 50 anos do século XIX assistiu-se ao desenvolvimento de um campo científico novo – o dos polímeros – que, não tendo tido uma influência decisiva na transformação da indústria das tintas antes do início do século XX, tem que ser referido, uma vez que esteve na base do aparecimento de uma indústria nova relacionada com as resinas (7).

A primeira utilização dos polímeros em tintas foi registrada por Alexander Parkes, em 1855.

Em 1872, o alemão Baeyer descobriu uma forma de produzir resinas fenólicas que tiveram uma grande aplicabilidade na produção de tintas.

Finalmente as resinas alquídicas, as resinas que mais importância tiveram na transformação da indústria química, foram também descobertas, na segunda metade do século XIX. A primeira referência a estes polímeros foi feita por Berzelius.

As datas de aparecimento de novos polímeros ou tecnologias que revolucionaram a indústria de tintas e vernizes ao longo dos anos estão apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01 - Cronologia do aparecimento de novos polímeros ou tecnologias na indústria de tintas

Data	Acontecimento
1930	Borracha clorada
1930-1935	Polímeros de cloreto de vinilo
1935	Wash-primers formuladas com butiral polivinílico
1940	Resinas de melamina
1944	Resinas de silicose
1946-1950	Polímeros de acetato de polivinilo em dispersão aquosa
1947-1950	Resina epoxi
1950	Resinas de poliéster insaturadas
1951	Polímeros acrílicos em dispersão aquosa
1951-1955	Misturas epoxi-poliamid
1954	Resinas alquídicas tixotrópicas
1956-1960	- Óleos e resinas alquídicas uretanizadas - Resinas acrílicas termoplásticas e termoendurecíveis - Tintas em pó
1961-1965	- Electrodeposição anódica - Polímeros fluorados
1966-1970	- Resinas curáveis por bombardeamento com energia ultravioleta ou feixes de electrões - Dispersões não-aquosas (NAD)
1970-1975	- Electrodeposição catódica (cataforese)
1976	Tintas com alto conteúdo em sólidos (HS)

Fonte: (7)

4.2.2 DEFINIÇÃO

Tinta é uma formulação, geralmente com aspecto de líquido viscoso, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em aglomerante e solvente, que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato, cuja finalidade é a de revestir uma dada superfície para conferir-lhe beleza e proteção. Quando essa tinta não contém pigmentos, ela é chamada de verniz. Por ter pigmentos, a tinta cobre a cor natural do substrato, conferindo-lhe a coloração do pigmento, enquanto o verniz resulta em um filme transparente, que deixa a cor natural do substrato (Figura 08).

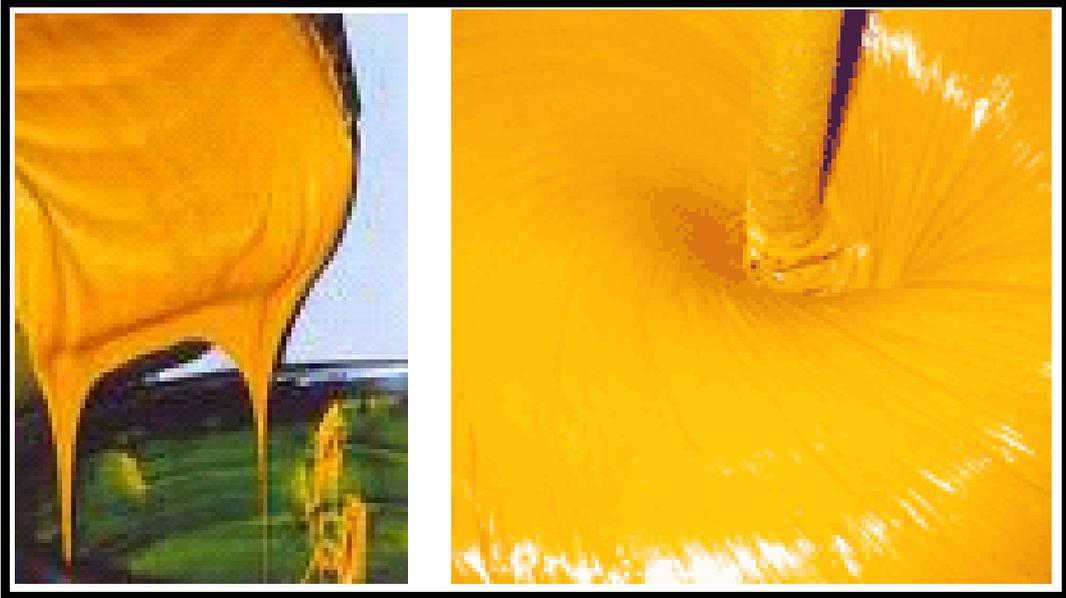


Figura 08 - Tinta líquida
Fonte: (9)

A tinta objeto do presente estudo não se enquadra plenamente na definição anterior, uma vez que a tinta para a sinalização horizontal não tem por finalidade proteger e nem embelezar superfícies e sim a de demarcar pavimentos, sinalizar vias, orientar motoristas e pedestres de rodovias e vias urbanas. Isso constitui uma extensão do conceito de tinta.

Tinta para sinalização de tráfego encontra uso na sinalização horizontal de pavimentos, na orientação do fluxo viário em aeroportos, rodovias, vias públicas, pátios de estacionamento, etc. As tintas para demarcação de tráfego apresentam como características básicas: secagem rápida, para facilitar a aplicação sobre o pavimento, ação antiderrapante, boa adesão, durabilidade com excelente resistência à ação de abrasão mecânica, lavabilidade, agentes químicos e intempéries, além de inalterabilidade à estocagem (10).

As tintas para sinalização horizontal são constituídas basicamente de solventes, resinas, pigmentos, cargas e aditivos e podem ser de um componente ou de dois componentes. As tintas ditas de um componente para a sinalização horizontal são formuladas com resina acrílica, vinílica, estireno-butadieno, estireno-acrilato ou alquídica. Já as tintas de dois componentes são formuladas com resina epóxi ou poliuretano (5).

4.2.3 FORMAS DE APLICAÇÃO DE TINTAS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

As tintas para sinalização horizontal são aplicadas em vias urbanas e rodovias com equipamentos apropriados, normalmente montados sobre caminhões (Figura 09), e para pequenos serviços, como faixas de travessias de pedestres, com pistola manual (Figura 10), com rolo ou trincha (Figura 11).



Figura 09 - Aplicação de tinta com equipamento apropriado
Fonte: (3)



Figura 10 - Pintura manual com pistola
Fonte: (11)



Figura 11 - Pintura manual com rolo e trincha (faixa de pedestres)
Fonte: (12)

4.2.4 CONTROLE DA QUALIDADE

Além do controle da qualidade da tinta realizado pelos próprios fabricantes, são feitos controles por laboratório capacitados para a comprovação da qualidade do produto, procedimento esse imprescindível para o fornecimento a órgãos públicos que são os maiores consumidores deste produto.

O controle da qualidade desses materiais de sinalização é realizado, também, no campo (Figura 12), no momento de sua aplicação no pavimento. Isso garante que a tinta que está sendo aplicada possui a mesma qualidade daquela ensaiada em laboratório.



Figura 12 - Controle da qualidade da tinta no momento da aplicação
Fonte: (13)

4.2.5 COMPONENTES DA TINTA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

Os componentes básicos da tinta são: resina, pigmento, aditivos e solventes.

Resina: é a parte não volátil da tinta, que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. A resina também denomina o tipo de tinta ou revestimento empregado. Assim, por exemplo, temos as tintas acrílicas, alquídicas ou epoxídicas. Quando a resina é acrílica, alquídica ou epoxídica, as tintas levam o nome da resina básica que as compõe. A formação do filme de

tinta está relacionada com o mecanismo de reações químicas do pré-polímero da resina, embora outros componentes, como solventes, pigmentos e aditivos, tenham influência no sentido de retardar e até inibir essas reações (14).

Antigamente, as resinas eram à base de compostos naturais, vegetais ou animais. Atualmente são obtidas através de indústria química ou petroquímica por meio de reações complexas, originando polímeros que conferem às tintas propriedades de resistência e durabilidade muito superiores às antigas (14).

As resinas, também chamadas de ligantes ou suportes, são produtos empregados na formulação de revestimentos orgânicos como tintas e esmaltes, responsáveis pelas propriedades de formação da camada, agregando os demais constituintes sólidos como os pigmentos, os corantes e as cargas. As resinas são classificadas em dois grandes grupos: naturais e sintéticas (10).

A resina tem como principal função aglomerar as partículas de pigmento e mantê-las unidas entre si e à superfície a ser pintada, para conferir plasticidade à película. A resina é de grande importância na tinta e determina seu desempenho. Para as tintas de demarcação viária são usualmente utilizadas as resinas alquídicas, borracha clorada e acrílicas e acrílicas estirenadas (5) (Tabela 02).

Tabela 02 - Comparativo entre os tipos de resinas empregadas na fabricação de tintas para demarcação horizontal

RESINAS	ALQUÍDICAS	ALQUÍDICAS E BORRACHA CLORADA	ACRÍLICAS	ACRÍLICAS ESTIRENADAS
PROPRIEDADES				
Tipo de cura	Oxidação e evaporação	Oxidação e evaporação	Coalescência	Evaporação
Resistência ao intemperismo	Boa	Boa	Excelente	Muito boa
Resistência à abrasão	Regular	Boa	Muito boa	Boa
Flexibilidade	Boa	Boa	Muito boa	Muito boa
Resistência ao calor	Boa	Regular	Muito boa	Muito boa
Resistência a solventes	Não recomendada	Não recomendada	Boa	Não recomendada
Resistência a ácido	Não recomendada	Não recomendada	Muito boa	Muito boa
Resistência a álcalis	Não recomendada	Não recomendada	Muito boa	Muito boa
Resistência à umidade	Boa	Boa	Muito boa	Muito boa

Fonte: (5)

Pigmento: são os compostos químicos responsáveis por conferir cor às tintas. Existem pigmentos naturais (orgânicos e inorgânicos) e sintéticos. Os pigmentos agem absorvendo seletivamente partes do espectro e refletindo o espectro complementar.

Pigmento é o material sólido finamente dividido, insolúvel no meio, utilizado para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos, e classifica-se em pigmentos coloridos (conferem cor), não coloridos e anticorrosivos (conferem proteção). Há pigmentos inorgânicos constituídos por moléculas inorgânicas, como dióxido de titânio, cromato de chumbo e há pigmentos constituídos por moléculas orgânicas (14).

Os pigmentos, também chamados elementos de cobertura, contribuem na formação da parte sólida da camada de revestimento. São partículas finas cuja finalidade é imprimir certas propriedades a essa camada, como a cor, a opacidade, durabilidade, resistência à corrosão, etc. Apresentam-se nos mais diversos tipos, cujas características variam em função da sua estrutura química, aspectos físicos e ópticos. Desta maneira, para se conhecer e adequar o seu desempenho, propiciando a sua correta aplicação no desenvolvimento de formulações, os pigmentos devem ser criteriosamente avaliados (10), por exemplo, para as tintas de sinalização horizontal, o pigmento precisa conferir bom poder de cobertura e resistência à abrasão.

As propriedades de cor e opacidade (poder de cobertura) são funções do pigmento, mas segundo a definição, não requerem necessariamente que os pigmentos tenham opacidade, pois existem minúsculas partículas sólidas que são utilizadas como pigmentos, apesar de ficarem praticamente incolores, quando incorporadas à tinta. Estes pigmentos com falta de opacidade denominam-se “pigmentos inertes” ou “carga” (5)

Cargas: são substâncias que servem para melhorar certas características como viscosidade, ou, simplesmente, baixar o custo por peso ou volume de um determinado tipo de tinta. Nas tintas de sinalização horizontal, são usadas para conferir alguma outra propriedade, como características antiderrapantes. As cargas mais utilizadas nessas tintas são calcita, dolomita, talco e quartzo (Tabela 03).

Tabela 03 - Exemplos de carga

Substância	Características	Aplicação
Dolomita	Carbonato de cálcio e magnésio. Densidade entre 2,9 e 3,1 kg/m ³ .	Baixo custo, podendo agir também como neutralizante.
Caulim	Argila pura, resultante da decomposição de feldspatos por hidratação. Densidade de 2,6 kg/m ³ .	Baixo custo; melhora as propriedades reológicas de uma tinta; auxilia a formação de suspensão; bom adjuvante para pigmentos.
Mica	Silicato de alumínio, potássio, sódio e, as vezes, lítio. Densidade entre 2,7 e 3,1 kg/m ³ .	Usado em tintas de aplicação externa, aumentando a resistência da tinta a água e a dureza superficial.
Talco	Silicato de magnésio. Densidade de 2,8 kg/m ³ .	Usado nas tintas para melhorar sua resistência a ação da água.

Fonte: (10)

Aditivo: ingrediente que, adicionado às tintas, proporciona características especiais às mesmas ou melhorias nas suas propriedades. Utilizado para auxiliar nas diversas fases da fabricação e conferir características necessárias à aplicação (14).

Existe uma variedade enorme de aditivos usados na indústria de tintas e vernizes, como secantes, anti-sedimentares, niveladores, anti-pele, antiespumante, etc. e sua dosagem no produto acabado raramente excede a 5% da composição. São usualmente classificados por função e não por composição química ou forma física. Quanto ao mecanismo de atuação, os aditivos podem ser divididos em quatro grupos (14):

a) Aditivos relacionados à cinética de cura:

- Secantes
- Catalisadores
- Anti-peles

b) Aditivos relacionados à reologia do produto:

- Espessantes
- Antiescorrimento

c) Aditivos relacionados ao processo de aplicação:

- Surfactantes
- Umectantes e dispersantes
- Antiespumantes
- Nivelantes

d) Aditivos de Preservação:

- Biocidas
- Estabilizantes de ultravioleta

Solventes: são substâncias capazes de dissolver produtos químicos diversos e, via de regra, todos são muito voláteis, isto é, evaporam facilmente. Outra característica da maioria dos solventes é a de serem inflamáveis, exceto a água que é um solvente inorgânico. Pelo grande poder de solvência, a água é chamada de "solvente universal". Os demais solventes utilizados são os orgânicos (hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, alcoóis, cetonas), todos com altos teores de VOC – *Volatile Organic Compounds*.

Em composições de tintas e de revestimentos, os solventes são geralmente usados para dissolver a resina e manter todos os componentes em uma mistura homogênea. Eles proporcionam uma viscosidade adequada para que se aplique o revestimento e possuem certas propriedades que permitem a formação adequada da película de revestimento. São classificados em: solventes ativos ou verdadeiros, latentes e inativos (14).

O solvente deve ser estável, incolor ou levemente colorido, anidro e apresentar baixíssima toxicidade. Portanto, a solvência é um fator de grande importância que deve sempre ser levado em consideração na escolha de um solvente, ou de associações de solventes, usado na fabricação e na aplicação das tintas. A solvência se manifesta de duas maneiras: pela miscibilidade do solvente com a substância com que forma soluções homogêneas, geralmente uma resina natural ou sintética, e pela eficiência que o solvente tem em reduzir a viscosidade desta resina. A miscibilidade é visualmente controlada, uma vez que sua carência ocasiona a formação de precipitados sólidos (10).

Os solventes são classificados em função de suas estruturas químicas e de aspectos técnicos. Quanto as suas características químicas, dividem-se em solventes parafínicos (querosene e aguarrás mineral), aromáticos (toluol, xilol), oxigenados (alcoóis, acetato de etila). Tecnicamente dividem-se em co-solventes e diluentes.

A finalidade primordial dos solventes e dos co-solventes é ajustar a viscosidade das tintas para que estas possam ser aplicadas. O ajuste da viscosidade certa da tinta é indicado para o respectivo tipo de aplicação e tem grande influência sobre o poder de alastramento, ou seja, o

nivelamento perfeito do filme aplicado, de forma a resultar uma película uniforme. Os solventes orgânicos mais utilizados em tintas de sinalização horizontal são o toluol, xilol, acetona e metil-etil-cetona (5).

A indústria de tintas e de revestimentos tem usado solventes há anos com grande sucesso. O formulador moderno tem de ser criteriosamente hábil para compreender as propriedades do solvente e seus efeitos no ser humano e no meio ambiente, bem como estar ciente da legislação aplicável.

4.3 Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água

Nota-se uma forte tendência do mercado consumidor para a aplicação de produtos que minimizam o impacto ambiental em substituição aos que agridem o meio ambiente. O crescimento desta consciência e as exigências dos órgãos reguladores obrigam fornecedores e consumidores a trabalharem em conjunto buscando produtos mais adequados às exigências ambientais, além das necessidades de custo e qualidade (15).

As tintas à base de resina acrílica emulsionada em água, que são produtos como tecnologia de ponta, se classificam entre os desenvolvimentos mais atuais (16).

A tinta objeto do presente trabalho é uma tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, na cor branca, formulada com aditivos, água, dolomita e dióxido de titânio, com a composição, em massa, apresentada na Tabela 04.

Tabela 04 - Composição da tinta objeto do estudo

Tinta na cor branca	
Componente	Participação (%)
Resina Acrílica	35
Aditivos	3
Água	5
Dolomita	46
Dióxido de Titânio	11

Fonte: (17)

Dos componentes da tinta, a resina acrílica é a responsável pelas características do filme, a água é o dissolvente da resina, o dióxido de titânio é o pigmento que confere a cor branca e a dolomita é a carga.

As resinas acrílicas são muito utilizadas em tintas de demarcação horizontal, pois apresentam ótima retenção de cor, ótima resistência às intempéries, grande resistência a óleos e graxas e boa flexibilidade. As tintas formuladas com resina acrílica secam por simples evaporação de solventes ou coalescência (5).

Após a evaporação da água de um filme de tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, é necessário que ocorra a coalescência das partículas de polímero emulsionado. Se a coalescência não ocorrer de forma adequada, o filme pode se apresentar opaco com múltiplas rachaduras (16).

Alguns fatores podem afetar significativamente a formação de filme e entre eles estão (15):

- umidade relativa: afeta a velocidade de evaporação da água e a porosidade do substrato e também pode influir na velocidade com que a água sai do filme, nos sistemas de secagem ao ar.
- temperatura: afeta o *crosslinking* do polímero e a temperatura de aplicação. A temperatura de aplicação não pode ser inferior ao ponto de congelamento da água.
- composição química: a composição química do polímero e seu peso molecular afetam a mobilidade do polímero e, com isto, algumas características da tinta, como o alastramento.

As resinas acrílicas, chamadas de acrilatos, são incolores e podem ser fabricadas a partir de ácido acrílico ou metacrílico e respectivos ésteres. A escolha dos monômeros para a fabricação do polímero, depende muito do emprego final, pois a composição do mesmo faz variar a dureza, flexibilidade e outras propriedades físicas. É também muito usada a copolimerização com estireno, resultando as resinas acrílicas estirenadas. As resinas assim obtidas apresentam menor resistência ao intemperismo, com uma leve tendência ao amarelecimento nas cores brancas e menor resistência à abrasão (5).

As resinas acrílicas termoplásticas ou poliácrlatos são macromoléculas de ésteres acrílicos

que, dependendo da sua estrutura química, resultam em substâncias filmogênicas com características próprias de dureza, flexibilidade e resistência à ação de agentes químicos e degradantes (10).

Atualmente todas as tintas utilizadas em demarcação viária, no Brasil, à base de solventes orgânicos empregam resinas acrílicas estirenadas e as emulsionadas em água são formuladas com resinas acrílicas puras (5).

4.3.1 COMPONENTES DA FORMULAÇÃO ADOTADA

O solvente utilizado na formulação da tinta objeto do presente trabalho é a água que confere as propriedades apresentadas na Tabela 05.

Tabela 05 - Propriedades da água

Propriedade	Valor
Ponto de ebulição	100 ⁰ C
Ponto de fusão	0 ⁰ C
Parâmetro de solubilidade	23,5 (cal/cm ³) ^{1/2}
Momento dipolar	1,84 db (debyes)
Entalpia latente de vaporização	540 cal/g
Tensão superficial	73 din/cm
Condutividade térmica	5800 W/m ² . ⁰ C
Calor específico	1 cal/g. ⁰ C
Massa específica (4 ⁰ C)	1,0000g/ml
Índice de refração (20 ⁰ C)	1,333
Constante dielétrica	78

Fonte: (15)

As tintas emulsionadas, embora o seu principal solvente seja a água, não são completamente isentas de solventes orgânicos, uma vez que na sua composição pode ser adicionado um álcool (metanol ou etanol). Esses solventes orgânicos, que nas tintas emulsionadas em água são denominados co-solventes, têm a função de contribuir na evaporação do solvente quando as tintas são aplicadas, ou seja, contribuem com a secagem das tintas.

A carga utilizada na formulação da tinta é a dolomita mineral, constituída de carbonato de

cálcio e magnésio com massa específica entre 2,9 e 3,1 kg/m³. É um mineral quimicamente inerte na composição da tinta, extraído de jazidas e beneficiado em diversas faixas granulométricas de acordo com a aplicação desejada. Essa carga é muito utilizada pelo baixo valor de mercado, isto devido à alta demanda e oferta. Após o processamento, a dolomita caracteriza-se por pó ligeiramente cinza, fino, inodoro, insolúvel e de baixa absorção a óleo.

O dióxido de titânio, de fórmula química TiO₂ e massa específica entre 3,9 e 4,2 kg/m³, é um dos mais importantes pigmentos brancos produzidos. Após o processamento, o dióxido de titânio caracteriza-se por pó branco, fino, inodoro, insolúvel em água e solventes orgânicos. Apresenta ampla faixa de aplicação, incluindo tintas arquitetônicas, industriais e de impressão, plásticos, borrachas, papel, produtos têxteis, alimentícios e fármacos (14).

Esse é o pigmento branco mais utilizado nas tintas brancas, pois apresenta boa resistência à luz e aos agentes químicos ácidos ou alcalinos e bom poder de cobertura (opacidade). O dióxido de titânio é obtido em duas formas cristalinas diferentes: o rutilo e o anatásio. O rutilo é um pouco mais amarelado do que o anatásio, porém tem melhor resistência ao intemperismo e maior poder de cobertura, sendo por isso recomendado para tinta de sinalização horizontal (5).

O dióxido de titânio apresenta alto índice de refração e elevada opacidade, portanto é capaz de refletir a radiação visível de forma satisfatória.

4.3.2 USO DE TINTAS À BASE DE ÁGUA

Quanto à utilização de tinta à base de resina acrílica emulsionada em água para demarcação viária, sua trajetória no mercado teve início em 1988, nos Estados Unidos, para atender algumas necessidades ambientais, como redução de poluição gerada por compostos orgânicos voláteis (VOC) e por resíduos perigosos e agressivos ao meio ambiente. Esta exigência ambiental aliada a um ambiente político, que começava a preocupar-se com ecologia, foi o fenômeno determinante para o desenvolvimento dessa tecnologia. Entretanto, à medida que o sistema entrou em utilização, rapidamente notaram-se outras diferenças importantes em relação às tintas à base de solvente: a maior durabilidade e performance, associada aos custos de aplicação que resultaram em sistemas mais econômicos. Essas constatações levaram a uma

revisão das políticas adotadas em sinalização horizontal (18).

Vários estados americanos reformularam suas decisões sobre os sistemas que deveriam ser utilizados para pintura. Após doze anos, mais de 75% deles já possuem uma legislação voltada à aplicação deste tipo de tinta e 47 estados americanos praticamente usam somente a tinta à base de água para sinalização de suas vias.

Aliada à legislação ambiental aprovada, a utilização dessa tecnologia inovadora apresenta soluções para diversos problemas, quando comparada às tintas convencionais à base de solvente orgânico.

Além de representar uma tecnologia de menor impacto ambiental, este tipo de tinta proporciona economia, pois a tinta 100% acrílica à base de água atinge, em geral, uma durabilidade superior em relação à tinta à base de solvente orgânico. Em alguns casos, resultados comprovados pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (EUA), em 1994, mostram que, mesmo após três anos de aplicação, a tinta 100% acrílica apresenta resultados satisfatórios, fato surpreendente para uma tinta de sinalização (5).

No Brasil, as pesquisas nessa tecnologia começaram por volta de 1990, e a comercialização do produto por volta de 1996. O consumo vem crescendo ano a ano. Em 2001, dos vinte e sete estados brasileiros, incluindo o Distrito Federal, nove tinham o seu uso consagrado e outros três estados estavam testando o produto.

O programa PRO SINAL do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - DENIT, órgão do Ministério dos Transportes, lançado em junho de 2006, prevê 48.000 km de sinalização, sendo 24.000 km de pintura de faixas em 26 estados da Federação e distrito federal. A pintura de 20% dessas faixas será realizada com tinta de menor impacto ambiental, ou seja, à base de água, portanto terá o seu uso consagrado em quase todo território nacional.

Durante esses dez anos de aplicação desse tipo de tinta nas rodovias brasileiras, observa-se que, em média, após um ano de aplicação, a tinta acrílica à base de água apresenta níveis de retrorefletância superiores aos apresentados pelas tintas à base de solvente orgânico, tanto para pavimentos de asfalto quanto para os de concreto. Isto significa que ela atinge uma vida média superior e, nesse caso, a economia é grande para o volume de tinta aplicada em manutenção na malha viária. Dados mais recentes mostram que a vida útil de uma tinta acrílica à base de água tem-se estendido por três anos ou mais, dependendo das condições de

tráfego da rodovia e de como foi realizada a aplicação.

4.3.3 VANTAGENS DA TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA EMULSIONADA EM ÁGUA

As vantagens do uso da tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, quando comparada com tintas fabricadas com solventes orgânicos, podem ser resumidas em:

- Impacto ambiental: baixas taxas de poluentes (VOC - Compostos Orgânicos Voláteis) o que reduz, em média, até em 220 kg a emissão de solvente por tonelada de tinta aplicada, em relação à tinta a base de solvente orgânico.
- Resíduos: são polímeros emulsionados em água, o que facilita muito o seu descarte final.
- Manuseio e estocagem: o aplicador manuseia um produto à base de água, o armazém estoca um produto não inflamável e o transportador carrega um produto altamente seguro, com taxa de risco praticamente zero.
- Alto teor de sólidos: proporciona maior rendimento em função de ter 20% a mais de sólidos em volume, quando comparada com as tintas solventes convencionais.
- Secagem rápida: permite rápida liberação do tráfego. O mecanismo de formação de filme é dado pela ruptura da emulsão, diferenciando-se das tintas convencionais, onde a secagem ocorre por evaporação dos solventes.
- Resistência à abrasão: apresenta melhor resistência à abrasão do que as tintas convencionais, proporcionando maior durabilidade.
- Retenção de cor: por se tratar de uma resina de acrílico puro, possui excelente resistência ao intemperismo (sol e chuva), conservando sua cor e coesão com melhor contraste em relação ao pavimento (visibilidade diurna).
- Retenção de esferas: promove excelente adesão às esferas de vidro, proporcionando um aumento na vida útil da retrorefletividade (visibilidade noturna).
- Fácil limpeza: os equipamentos de aplicação desta tinta e as embalagens podem ser limpos com água corrente, minimizando custos e riscos.
- Normalização: a Associação Brasileira de Normas Técnicas -ABNT normalizou as tintas à serem usadas na sinalização horizontal viária por meio das normas NBR 11862/92 - Tinta para sinalização horizontal à base de resina acrílica, NBR12935 -

Tinta com resina livre para sinalização horizontal viária e NBR 13699/96 - Tinta para sinalização horizontal viária à base de resina acrílica emulsionada em água.

Na escolha das tintas a serem utilizadas na sinalização, em geral, opta-se por aquelas de menor preço de aquisição, mas se avaliados os produtos em um mesmo trecho de via para se fazer a comparação da vida útil, conforme Tabela 06 e realizando uma análise do custo/benefício, para o período de um ano, com os valores reais praticados no Brasil, conforme Tabela 07, constatamos que para a tinta à base de solvente orgânico (NBR 12935) o custo anual é de US\$ 5.8/m², para a tinta à base de solvente orgânico (NBR 11862) o custo anual é de US\$ 5.9/m², enquanto que para a tinta à base de água (NBR 13699) o custo anual é de US\$ 3.7/m².

Tabela 06 - Vida esperada para tintas de demarcação horizontal

TIPO DE TINTA ABNT	ESPESSURA ÚMIDA (mm)	VIDA ÚTIL ESPERADA (meses)
Solvente (NBR12935)	0,6	12
Solvente (NBR 11862)	0,6	18
Água (NBR 13699)	0,5	30

Fonte: (18)

Tabela 07 - Custos, no Brasil, para tintas de demarcação horizontal

TIPO DE TINTA ABNT	ESPESSURA (mm)	CUSTO (US\$/m²)	VIDA ÚTIL (meses)	CUSTO ANUAL (US\$/m²/ano)
Solvente (NBR 12935)	0,6	5.8	12	5.8
Solvente (NBR 11862)	0,6	8.8	18	5.9
Água (NBR 13699)	0,5	9.3	30	3.7

Fonte: (18)

Baseando-se nos dados apresentados, é possível perceber que, de um modo geral, para a viabilidade econômica do sistema de demarcação, não se deve levar em conta somente o custo inicial superior. Apesar do custo inicial de aplicação por m² ser superior, no caso das tintas à base de resina acrílica emulsionada em água, seu desempenho proporciona um melhor resultado em termos de custo/benefício.

Com esta análise fica comprovado que a tinta à base de água, apesar de mais cara, apresenta um custo final menor.

4.4 Microondas

Microondas são ondas eletromagnéticas com frequências entre 300 MHz (300×10^6 Hz) e 300 GHz (300×10^9 Hz) e comprimento entre 1 m e 1 mm. São ondas que se situam entre a região de infravermelho e ondas de rádio. As microondas são utilizadas principalmente para telecomunicação (TV e celulares), radares de navegação aérea e marítima. Também são usadas na medicina para tratamento diatérmico e esterilizações, na ciência para aquecimentos de materiais específicos, digestão rápida de amostras, espectrometria, na indústria como fonte de energia e nos fornos domésticos para cozimento de alimentos (19, 20).

4.4.1 RADIAÇÃO POR MICROONDAS

A energia de microondas é usada há mais de 40 anos no processamento de materiais, em aplicações como: aquecimento para vulcanização de borrachas, cura de resinas, processos de secagem de cerâmicas, vitrificação de resíduos, aquecimento de alimentos em fornos domésticos (21).

O processamento de materiais baseado no aquecimento por meio de energia de microondas vem ganhando a cada dia mais destaque e importância industrial, em virtude de uma série de vantagens frente aos métodos convencionais de aquecimento. Por exemplo: secagens mais rápidas, aquecimentos mais uniformes e seletivos e aceleração de reações químicas.

O grande benefício do uso de microondas em processos ativados termicamente advém da especificidade de absorção da energia de microondas por materiais polares e respectivo aquecimento desses materiais, em contraste com os métodos de aquecimento comumente utilizados. A energia de microondas transforma-se em calor dentro do material, o que resulta, em regra geral, em significativa economia de energia e redução do tempo de processamento. Mais ainda, no processamento químico, onde se observa uma aceleração das reações químicas. Todos esses fatores mostram porque as microondas conquistam espaço em muitas

aplicações industriais.

4.4.2 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro eletromagnético é amplo, como se pode observar na Figura 13 e as faixas de frequência recebem nomes particulares, conforme apresentado na Tabela 08.

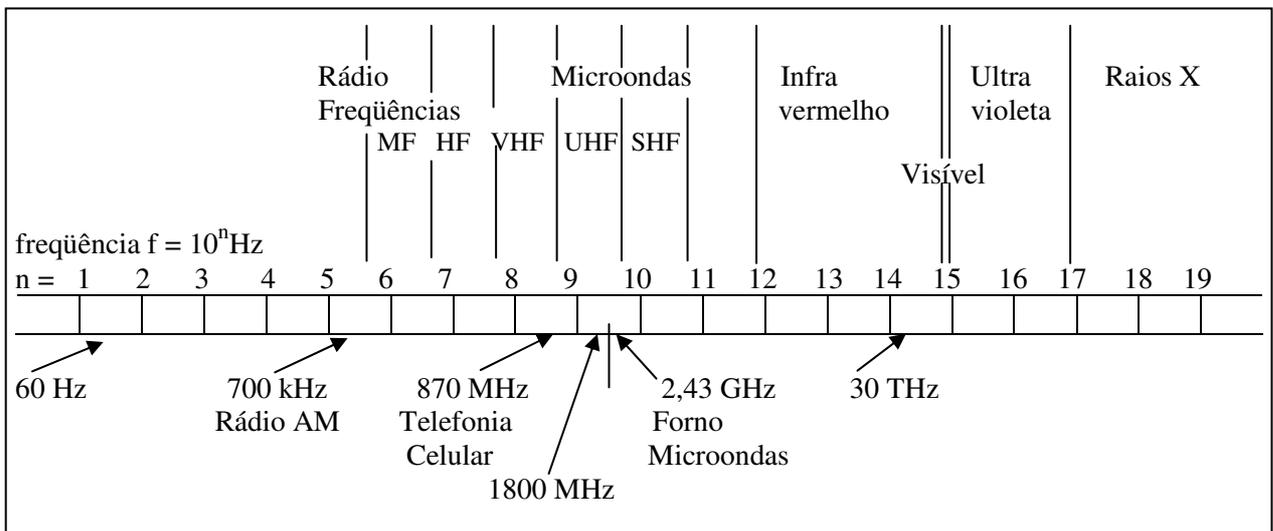


Figura 13 - Representação gráfica do espectro eletromagnético.

Fonte: (22)

Apesar da grande extensão do espectro, as radiações eletromagnéticas, de qualquer frequência, têm em comum a velocidade de propagação, conhecida como velocidade da luz (c), uma constante cujo valor, no vácuo, é de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. O conteúdo energético das radiações, porém, depende da frequência da radiação.

A radiação de microondas (23, 25) é uma radiação eletromagnética, isto é, uma forma de energia que se propaga em linha reta no espaço livre de obstáculos.

A radiação eletromagnética tem o mesmo significado que onda eletromagnética. Exemplos: luz visível, luz infravermelha, ondas de rádio, microondas. Esta radiação é constituída por um campo elétrico (ϵ ou E) conjugado com um campo magnético (H), como se representa na Figura 14 (26).

Tabela 08 - Faixas de frequência

NOTAÇÃO	CLASSE	FAIXA DE FREQUÊNCIA	FAIXA DE COMPRIMENTO DE ONDA	FAIXA DE ENERGIA
γ	Raios Gama	300 EHz – 30 EHz	1 pm – 10 pm	1,24 MeV – 124 keV
HX	Raios X duro	30 EHz – 3 EHz	10 pm – 100 pm	124 keV – 12,4 keV
SX	Raios X	3 EHz – 30 PHz	100 pm – 10 nm	12,4 keV – 124 eV
EUV	Ultravioleta extremo	30 PHz – 3 PHz	10 nm – 100 nm	124 eV – 12,4 eV
NUV	Ultravioleta próximo	3 PHz – 300 THz	100 nm – 1 μ m	12,4 eV – 1,24 eV
NIR	Infravermelho próximo	300 THz – 3 PHz	1 μ m – 10 μ m	1,24 eV – 124 meV
MIR	Infravermelho moderado	30 THz – 3 THz	10 μ m – 100 μ m	124 meV – 12,4 meV
FIR	Infravermelho longínquo	3 THz – 300 GHz	100 μ m – 1 mm	12,4 meV – 1,24 meV
EHF	Alta frequência extrema	300 GHz – 30 GHz	1 mm – 1 cm	1,24 meV – 124 μ eV
SHF	Super-alta frequência	30 GHz – 3 GHz	1 cm – 1 dm	124 μ eV – 12,4 μ eV
UHF	Ultra-alta frequência	3 GHz – 300 MHz	1 dm – 1 m	12,4 μ eV – 1,24 μ eV
VHF	Frequência muito alta	300 MHz – 30 MHz	1 m – 1 dam	1,24 μ eV – 124 neV
HF	Frequência alta	30 MHz – 3 MHz	1 dam – 1 hm	124 neV – 12,4 neV
MF	Frequência média	3 MHz – 300 kHz	1 hm – 1 km	12,4 neV – 1,24 neV
LF	Frequência baixa	300 kHz – 30 kHz	1 km – 10 km	1,24 neV – 124 peV
VLF	Frequência muito baixa	30 kHz – 3 kHz	10 km – 100 km	124 peV – 12,4 peV
VF	Frequência de voz	3 kHz – 300 Hz	100 km – 1 Mm	12,4 peV – 1,24 peV
ELF	Frequência extrem. baixa	300 Hz – 30 Hz	1 Mm – 10 Mm	1,24 peV – 124 feV

Fonte (23, 24)

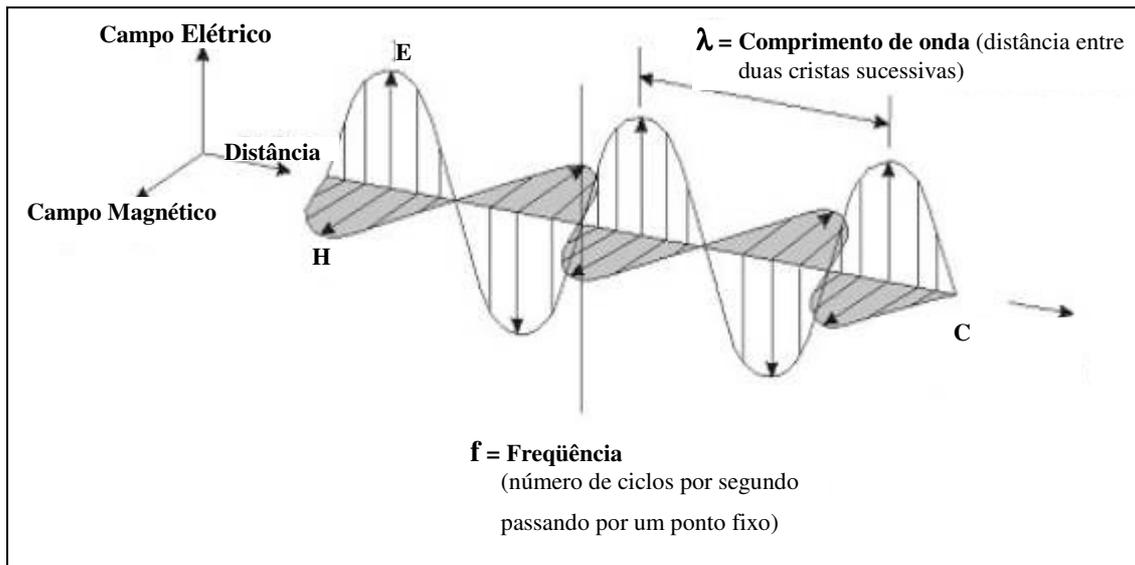


Figura 14 - Representação de uma onda eletromagnética
 Fonte: (26).

A onda eletromagnética é caracterizada por: frequência (f), comprimento de onda (λ) ou número de ondas (ν).

A forma mais adequada para caracterizar uma onda eletromagnética é a frequência, pois ela é uma propriedade invariante, isto é, não pode ser alterada por nenhum processo linear. Ela representa a velocidade de mudança de fase de uma onda senoidal. Sua unidade, no SI (Sistema Internacional), é o Hz e representa quantas vezes um evento ocorre em um segundo.

O comprimento de onda é a relação entre a velocidade da onda (v) e a frequência (f):

$$\lambda = v / f$$

Referindo-se a uma propagação no vácuo, a velocidade da onda será a velocidade da luz ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s, ou mais precisamente 299.792.458 m/s):

$$\lambda = c / f$$

A sua unidade é m (em óptica, nm).

O número de ondas, mais usado em espectrometria (27), é o inverso do comprimento de onda:

$$\nu = 1 / \lambda = f / c$$

Note-se que o número de ondas é diferente da frequência. Sua unidade é m⁻¹ (usual, cm⁻¹).

A radiação pode ser descrita por um modelo ondulatório (onda eletromagnética) como por um modelo corpuscular (feixe de fótons). Fótons são partículas de massa invariante e nula que se movimentam a velocidade constante e igual à da luz, e apresenta uma quantidade de energia (E) medida em Joules (J) ou eletrônvolt (eV), sendo 1 eV = 1,6.10⁻¹⁹ J, e definida por:

$$E = h.f = h.c / \lambda$$

onde h é a constante de Planck (6,63.10⁻³⁴ J/Hz).

As microondas são radiações eletromagnéticas não ionizantes, ou seja, que não possuem energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo de material biológico que constitui o corpo humano, sabe-se que somente fótons com energia superior a 10 eV conseguem ter efeito ionizante.

Como as microondas estão situadas na faixa entre 300 MHz e 30 GHz, analisando a Figura 13, pode-se depreender que as microondas não são radiações de alta energia. Comparando essa faixa de energia com a energia necessária para quebrar ligações químicas da Tabela 09 percebe-se que as microondas não são capazes de romper essas ligações químicas.

Conseqüentemente, as microondas não são radiações ionizantes e apenas podem provocar a rotação de compostos bipolares e o movimento de íons (24).

Radiações ionizantes são radiações que possuem energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo.

No tocante ao material biológico que constitui o corpo humano, somente fótons com energia superior a 10 eV têm efeito ionizante.

Tabela 09 - Energias relativas a moléculas de compostos químicos (5)

Moléculas de compostos químicos	Energia (kJ/mol)	Energia (eV)
Movimento browniano	1,64	0,017
Ligações de hidrogênio	3,8 – 42	0,04 – 0,44
Ligações covalentes C-H	435	4,51
Ligações covalentes C-C	368	3,82
Ligações iônicas	730	7,6

Fonte: (24)

A aplicação de microondas vem ganhando muito espaço em vários setores e visando evitar interferências nas telecomunicações, há faixas restritas de frequências para o uso em aplicações industriais, médicas e científicas. A Tabela 10 apresenta as faixas permitidas em vários países (28).

Tabela 10 - Frequências de microondas permitidas para fins industriais.

Frequência (GHZ)	Tolerância (+/-)	Área em que a frequência é permitida
0,434	0,2%	Áustria, Holanda, Portugal, Alemanha, Suíça
0,896	10 MHz	Grã-Bretanha
0,915	13 MHz	América do Norte e América do sul
2,375	50 MHz	Rússia, Albânia, Bulgária, CIS, República Tcheca, Eslováquia, Hungria, Romênia
2,450	50 MHz	Mundial exceto onde é usada a frequência de 2,375
3,390	0,6%	Holanda
5,800	5 MHz	Mundial
6,780	0,6%	Holanda
24,150	25 MHz	Mundial
40,680	25 MHz	Grã-Bretanha

Fonte:(28)

4.4.3 TIPOS DE MATERIAIS E RELAÇÃO COM MICROONDAS

Os materiais frente a microondas podem ser caracterizados por sua permissividade elétrica (constante dielétrica, ϵ'), fator de perdas (constante de perdas, ϵ'') e tangente de perdas ($\tan \delta$) (29).

A permissividade elétrica mede a energia armazenada por um dielétrico. O fator de perdas mede a energia dissipada por um dielétrico. A tangente de perdas é a relação entre a permissividade e o fator de perdas, ou seja, relaciona a energia armazenada com a dissipada:

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

Em função destes valores, os materiais podem ser classificados em:

- transparentes – materiais e compostos não metálicos, com baixos valores de ϵ'' e $\tan \delta$, são invisíveis às microondas, não as retendo e permitindo que atravessem o material (Figura 15).

Exemplos: Teflon, polipropileno (PP), polietileno (PE), hidrocarbonetos, clorofórmio, etc.

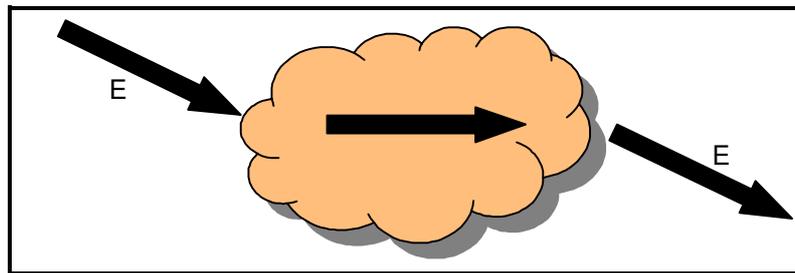


Figura 15 - Material transparente a microondas

- refletores – materiais metálicos que são materiais bons condutores de energia elétrica (Figura 16).

Exemplos: alumínio, aço inoxidável, cobre, latão e metais em geral.

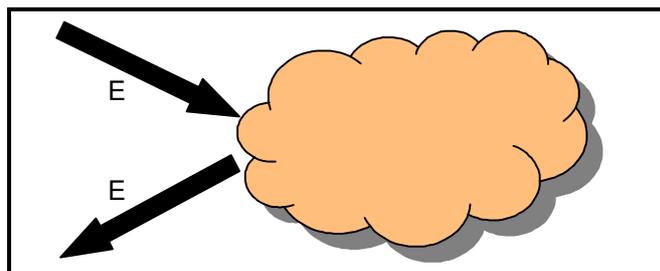


Figura 16 - Material refletor de microondas (opaco)

- dielétricos: materiais e compostos polares com altos valores de ϵ' e $\tan \delta$, são os materiais que absorvem microondas, transformando-as em calor (Figura 17).
Exemplos: carbeto de tungstênio, carbeto de silício, água líquida, álcoois, ou seja, substâncias polares em geral.

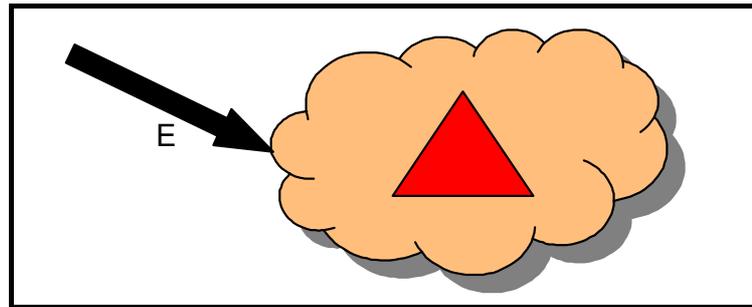


Figura 17 - Material dielétrico

4.4.4 AQUECIMENTO POR MICROONDAS (29)

Nos processos convencionais de aquecimento o que se observa e se estuda é a transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio por meio de irradiação, condução e convecção. No caso de aquecimento por microondas ocorre um fenômeno distinto, a dissipação de energia no volume de penetração das microondas.

Uma vantagem do aquecimento por microondas em relação ao aquecimento convencional é a ausência de contato com uma fonte quente, prescindindo, desta forma, de um gradiente térmico para a transferência da energia. A transferência de energia no aquecimento por microondas, ocorre no interior de forma rápida, bastante homogênea, segura e possível de controle.

Ao contrário dos fornos convencionais de convecção, os fornos de microondas aquecem apenas o produto colocado em seu interior e não toda a cavidade do forno que, em princípio, permanece fria durante o aquecimento da carga.

A transformação de energia eletromagnética em calor, no interior dos materiais dielétricos, ocorre por um conjunto de mecanismos em escala atômica e molecular, entre os quais sobressaem a rotação dipolar e a condução iônica.

- a) *mecanismo de rotação: dipolar*: nesse mecanismo, as moléculas bipolares submetidas a um campo elétrico tendem a ter seu bipolo orientado conforme a orientação do campo elétrico, como se representa na Figura 19 e na Figura 19.

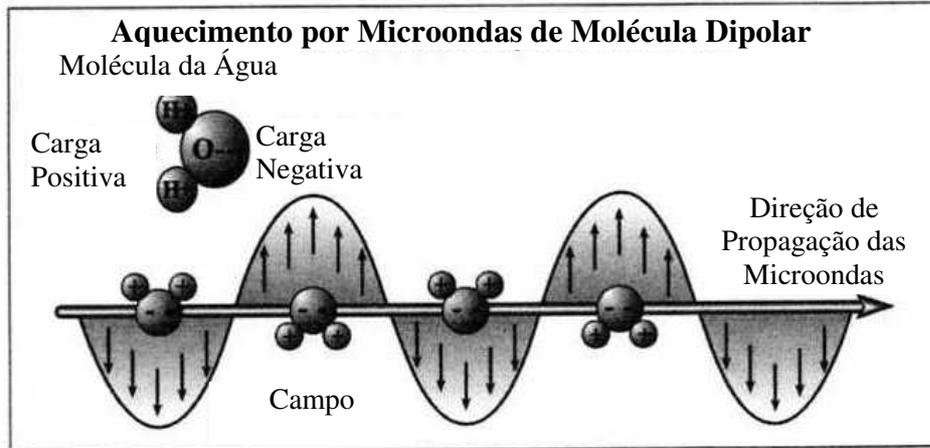


Figura 18 - Polarização da água
Fonte: (30)

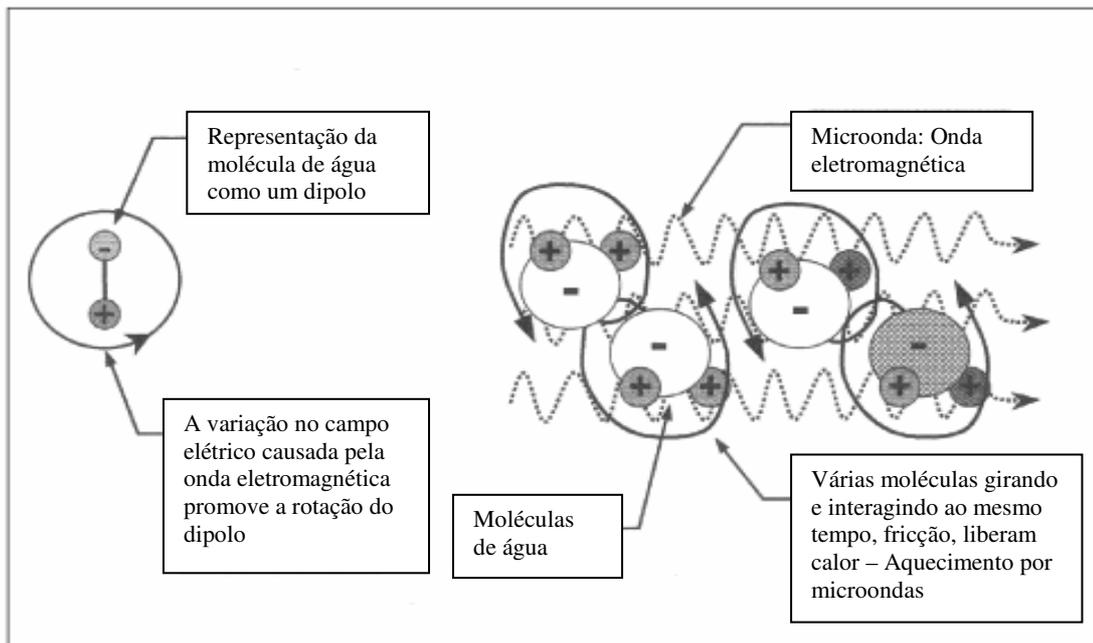


Figura 19 - Princípio de ação das microondas
Fonte: (31)

Na faixa de microondas, a frequência é baixa o bastante para que os bipolos moleculares respondam à alternância do campo elétrico e, conseqüentemente, sofram um movimento rotacional. Também a frequência é adequadamente alta para que o bipolo não acompanhe a mudança do campo elétrico com precisão. Conseqüentemente há um retardo entre o

posicionamento das fases do campo e dos bipolos. Essa defasagem entre estas orientações causa uma perda de energia por fricção molecular e colisões possibilitando o aquecimento do material dielétrico.

b) *mecanismo de condução*: nesse mecanismo, os íons presentes em soluções iônicas, sob a ação do campo elétrico, se movem segundo a orientação do campo. Este movimento resulta no aumento do número de choques, que por sua vez resulta em dissipação de energia aumentando a temperatura (transformação de energia cinética em calor). O efeito destes choques é mais intenso que o resultante da polarização bipolar.

4.4.5 QUANTIFICAÇÃO DO AQUECIMENTO POR MICROONDAS (29)

A potência dissipada em um dielétrico é dada em W/m^3 e pode ser quantificada pela equação:

$$P_v = \omega \cdot \epsilon'' \cdot E_m^2 / 2$$

$$P_v = \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' \cdot \tan \delta \cdot E_m^2 \approx 2,78 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot \epsilon_r' \cdot \tan \delta \cdot E_m^2$$

Onde:

- E_m é a intensidade de campo elétrico
- f é a frequência da onda eletromagnética
- ϵ_0 é a permissividade do vácuo ($\approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)
- ϵ_r' é a permissividade do dielétrico relativa ao vácuo.

A intensidade do campo elétrico, dentro do dielétrico, decai exponencialmente:

$$E(z) = E_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$

Onde:

- α é o fator de atenuação

$$\alpha \approx 1,48 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot \{ \epsilon_r' \cdot [\sqrt{(1 + \tan^2 \delta)} - 1] \}^{1/2}$$

Destas equações tem-se que a potência dissipada na cota z é:

$$P_v(z) \approx 2,78 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot \epsilon_r' \cdot \tan \delta \cdot E_0^2 \cdot e^{-2\alpha \cdot z}$$

Em consequência desta potência dissipada, a temperatura, em função da penetração, é representada, °C/s, por:

$$\delta T(z) / \delta t = P_v(z) / \rho \cdot C_p$$

Onde:

- ρ é a massa específica (kg/m³)
- C_p é o calor específico (J/kg. °C)

O volume de aquecimento da carga é limitado pelo nível de penetração das microondas em um dielétrico, que é representado pela equação:

$$d = c/2 \cdot \pi \cdot f \cdot \{ 2 / \epsilon_r \cdot [\sqrt{(1 + \tan^2 \delta)} - 1] \}^{1/2}$$

Quando reações químicas são aquecidas por microondas, além de todas as informações sobre aquecimento dielétrico ora apresentadas serem aplicáveis, observa-se outro fenômeno, a aceleração das reações químicas.

Há duas vertentes que buscam explicar a causa para esta constatação empírica:

- a) o superaquecimento do meio reagente, causando uma aceleração pelo aumento de temperatura via lei de Arrhenius;
- b) o desemparelhamento de spins de átomos dos reagentes, devido ao campo eletromagnético.

A segunda teoria já tem confirmação experimental (32).

4.4.6 UTILIZAÇÃO SEGURA DE MICROONDAS

O projeto de cavidades de microondas garante que as microondas sejam contidas dentro da cavidade e só estão presentes quando o equipamento está ligado e com a porta fechada. O vazamento em volta e através da porta é limitado pelo projeto a um nível bem abaixo do recomendado pelos padrões internacionais. Entretanto, o vazamento das microondas pode ocorrer em equipamentos danificados, ou modificados, ou, ainda, construídos com projeto não apropriado.

O "coração" do forno de microondas é a válvula magnetron que gera as microondas. Ela é constituída de um dispositivo sob vácuo, que converte energia elétrica em microondas. Uma diferença de potencial constante é aplicada entre o ânodo e o cátodo. Os elétrons são acelerados do cátodo para o ânodo, mas a presença de um forte campo magnético que é produzido por um eletro-ímã colocado entre os dois pólos faz com que os elétrons descrevam uma trajetória curva e sigam um caminho em espiral, produzindo radiofrequência (RF). Posteriormente, por um mecanismo mais complexo, ocorrerá a emissão de ondas eletromagnéticas por uma antena colocada diretamente sobre o ânodo. As ondas produzidas serão guiadas por um guia de onda até a cavidade contendo o material a ser aquecido. As paredes metálicas do forno absorvem muito pouco da energia. A parte que não é absorvida pela carga é refletida e absorvida em uma carga de dispersão (*dummy load*), que evita que as

A *International Electrotechnical Commission* (IEC), o *International Committee on Electromagnetic Safety* (ICES) do *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE) e o *European Committee for Electrotechnical Standardzation* (CENELEC), determinaram um limite de emissão do produto de 50 watts por metro quadrado (W/m^2) em qualquer ponto a 5 cm da superfície externa do forno. Na prática, as emissões dos fornos de microondas domésticos modernos estão bem abaixo desse limite internacional, e tem dispositivos que previnem as pessoas a serem expostas às microondas enquanto o forno está ligado. Além disso, a exposição diminui rapidamente com a distância; por exemplo, uma pessoa a 50 cm do forno recebe um centésimo da microonda do que aquela afastada 5 cm. Esses limites de emissão são definidos para testes de conformidade, e não especificamente para proteção contra exposição. A Comissão Internacional de Proteção contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP), composta por um grupo de cientistas independentes, de várias nacionalidades, sem vínculos com os respectivos governos, publicou diretrizes sobre limites de exposição a campos eletromagnéticos (EMF) que compõem o espectro. As diretrizes de exposição na faixa de microondas estão em um nível que previne qualquer tipo de efeito adverso à saúde. Os limites de exposição de trabalhadores e do público em geral estão definidos em um nível bem baixo para que não ocorra qualquer aquecimento perigoso proveniente da exposição às microondas. O limite de emissão para fornos de microondas mencionado anteriormente é consistente com os limites de exposição recomendados pela ICNIRP.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), órgão da Organização das Nações Unidas (ONU) recomenda a todos os países a adoção das diretrizes da ICNIRP. No Brasil o mesmo documento, traduzido pela Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética (ABRICEM), por solicitação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), serviu de base para a regulamentação federal em vigor (22).

4.4.7 APLICAÇÃO DE MICROONDAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

A aplicação de microondas em processos industriais está sendo considerada por vários segmentos produtivos, quer para processos de aquecimento, quer para esterilização de produtos já embalados, ou mesmo para catálise de reações químicas, uma vez que o avanço tecnológico e o aprofundamento das pesquisas científicas estão tornando a utilização de microondas, a cada dia muito mais ampla e de alto impacto no aspecto econômico (29, 32).

Atualmente pode ser encontrada a aplicação de microondas em processos como:

- secagem de madeira, papel, tinta, couro, produtos têxteis, cerâmica, moldes de fundição, produtos farmacêuticos, plásticos, borrachas, produtos químicos, soja, minérios, etc;
- vulcanização de borracha;
- cura de resinas e colas;
- vitrificação de resíduos radiativos;
- sinterização de cerâmica e vitrocerâmica;
- processos químicos de síntese;
- abertura de amostras;
- desinfestação de sementes;
- parboilização de arroz;
- destruição de gases tóxicos;
- hidrólise ácida ou enzimática;
- pasteurização.

As figuras a seguir são exemplos de equipamentos utilizados em processos industriais de aplicação de microondas (Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24).

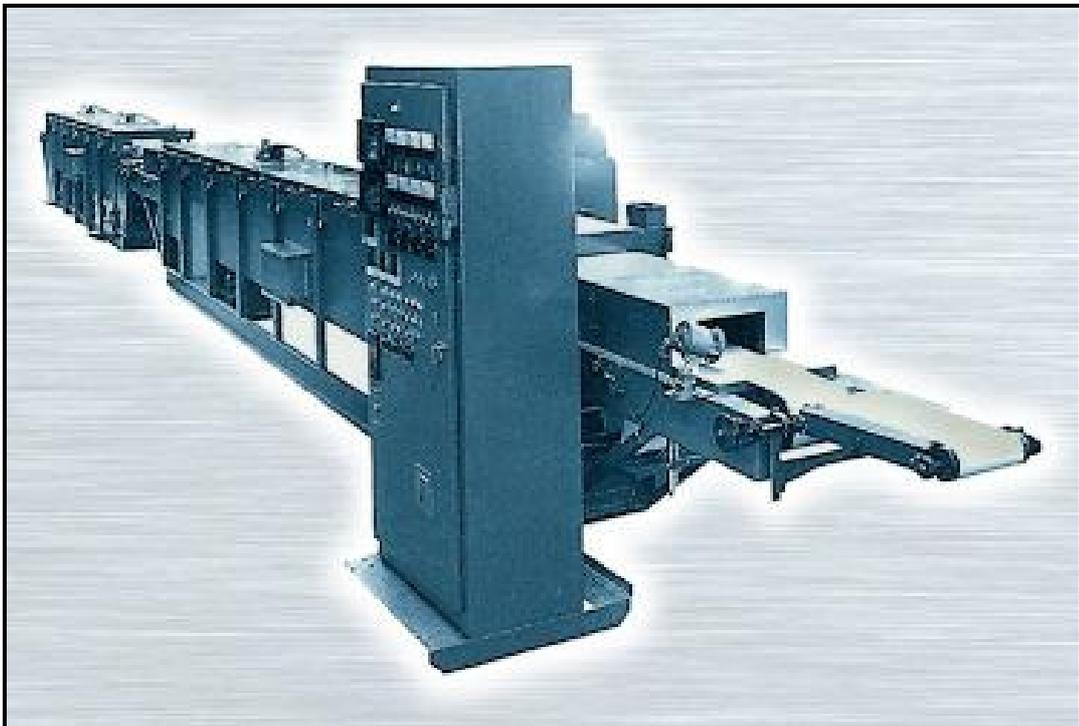


Figura 21 - Forno de microondas contínuo para vulcanização de borracha
Fonte: (34)

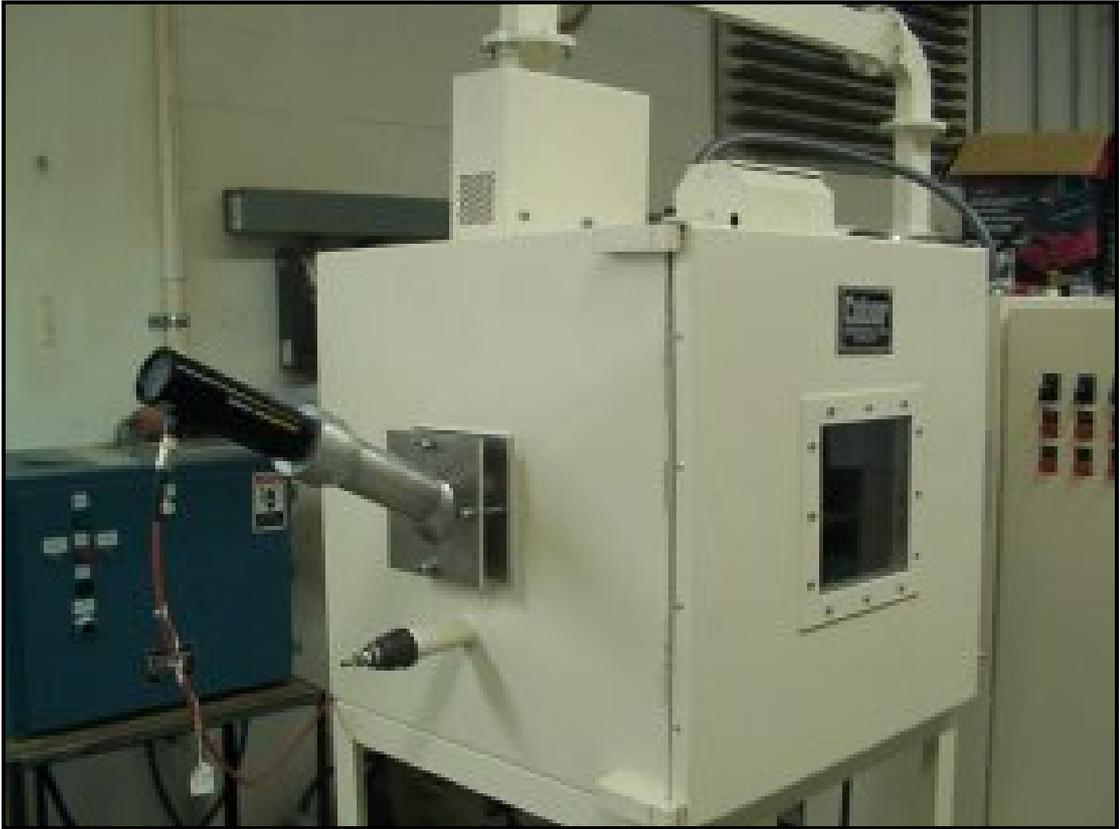


Figura 22 - Forno de microondas de batelada para sinterização
Fonte: (34)



Figura 23 - Forno de microondas contínuo para sinterização
Fonte: (34)



Figura 24 - Forno de microondas contínuo para cerâmica
Fonte: (34)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

A tinta utilizada nos ensaios é fabricada e comercializada pela empresa Indutil Indústria de Tintas Ltda. Neste trabalho, foi empregada a tinta na cor branca.

A tinta selecionada é uma tinta acrílica à base de água, que é recomendada para sinalização de rodovias com volume médio diário de tráfego - VDM de até 20.000 veículos e vias urbanas com até 5.000 veículos. Suas principais características são: secagem rápida em temperaturas acima de 25°C, boa aderência em pavimentos asfálticos em bom estado de conservação, resistência à gasolina, ótima resistência à abrasão e boa retenção de cor. Trata-se de uma tinta fabricada com resina desenvolvida especialmente para pavimentos viários, não provocando danos aos mesmos. Utiliza água como meio de dispersão e por não conter compostos orgânicos voláteis (VOC) propicia diminuição do impacto ambiental. Como a água é o meio de dispersão, essa tinta de baixa toxicidade e não inflamável, que, desta forma, reduz os riscos de acidentes e garante melhores condições de segurança aos operadores que trabalham na sua aplicação. Essa tinta possui altos sólidos em volume, resultando em uma espessura seca 30% maior, partindo da mesma espessura úmida, quando comparada às tintas convencionais para demarcação à base de solventes orgânicos voláteis.

Este material é produzido para atender às especificações da norma ABNT NBR 13699 – Sinalização Horizontal Viária – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água.

Outras características da tinta estão apresentadas nos anexos A e B.

A norma ABNT NBR 13699, em seu item 4.5, estabelece as características que a tinta deve apresentar, bem como os métodos de ensaios para cada característica, com as respectivas normas de execução, conforme apresentado na Tabela 11, complementada pela Tabela 12.

Tabela 11 - Características da tinta

Características	Condições	Métodos de ensaio
Consistência UK (mínimo) – Viscosímetro Stomer	80	NBR 12027 (39)
Estabilidade na armazenagem - alteração da consistência UK (máximo)	10	NBR 5830 (36)
Massa específica, g/cm ³ (mínimo)	1,59	NBR 5829 (35)
Finura de moagem, “Hegmann” (mínimo)	4	NBR 7135 (37)
Tempo de secagem, <i>no pick-up time</i> (extensor de 0,4 mm), minutos (máximo)	12	NBR 12033 (40)
Tempo de secagem, <i>no pick-up time</i> , com umidade relativa a 90% (extensor de 0,4 mm) minutos (máximo)	20	ver seção 5 da norma NBR 13699 (2)
Brilho a 60°, unidade (máximo)	20	NBR 12035 (42)
Sólidos por volume (mínimo) (%)	62	ASTM D 2697 (48)
Resistência à abrasão, litros (mínimo) - tinta branca - tinta amarela, azul, vermelha e preta	100 90	NBR 12034 (41)
Poder de cobertura	Conforme tabela 12	NBR 9676 (38)
Cor (Notação “Munsell Highway”) - tinta branca - tinta amarela - tinta azul - tinta vermelha - tinta preta	N 9,5 10YR7,5/14 5PB2/8 2,5R4/14 N 0,5	NBR 12934 (47)
Flexibilidade	Inalterada	NBR 12036 (43)
Resistência à água	Inalterada	NBR 12038 (44)
Resistência ao calor	Inalterada	NBR 12039 (45)
Resistência à gasolina, 2 h	Inalterada ¹⁾	ASTM D 2792 (49)
Resistência ao intemperismo (400 h) - cor - integridade	Inalterada Inalterada	NBR 12040 (46)
Identificação do veículo não-volátil	²⁾	ASTM D 3168 (50)

¹⁾ Na tinta amarela é permitida alteração de cor.

²⁾ O espectrograma de absorção de radiações infravermelhas deve apresentar bandas características de resinas acrílicas.

Fonte: (2)

Tabela 12 - Poder de Cobertura

Cor da tinta	Número da placa cristal	Máxima leitura mm
Branca	7	10
Amarela	7	16
Azul	2	25
Vermelha	7	10
Preta	2	14

Fonte: (2)

5.2 Equipamentos

Para o estudo do comportamento da tinta mencionada foram usados corpos de prova em painéis de vidro, de alumínio e de folhas de flandres, conforme a natureza do ensaio realizado.

A aplicação da tinta nos painéis e a análise dos corpos de prova foram realizadas com os equipamentos previstos na norma ABNT NBR 13699, a seguir relacionados:

- a) Consistência UK (Unidade Krebs) e estabilidade na armazenagem
 - Viscosímetro Stormer (Gardner)
 - Cronômetro Technos (Universal Watch)

- b) Massa específica (g/cm^3)
 - Picnômetro metálico de 100 cm^3 e tampa com furo central de $\varnothing = 1 \text{ mm}$
 - Termômetro Incorterm 5254, ASMT 2C Faixa: -5°C a 300°C
 - Balança Mettler Toledo AB204, mín 10 mg e máx. 210 g

- c) Finura de moagem (Hegman)
 - Grindômetro (Gardner)

- d) Tempo de secagem (s)
 - Cilindro de aço com anéis de borracha ($5,386 \pm 0,08$) kg e rampa de aço – *pick up time* (Gardner)
 - Cronômetro Technos (Universal Watch)
 - Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)

- e) Brilho
 - Micro-Gloss 60° (Elcometer)
 - Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)

- f) Sólidos por volume (%)
 - Balança Mettler Toledo AB204, mín 10 mg e máx. 210 g
 - Estufa modelo 119, faixa 50°C a 300°C (Fabbe Ltda.)

- g) Resistência à abrasão (litros)
 - Abrasímetro AG 1046 (Gardner)

- Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
 - Medidor digital de camadas DIGI DERM série 979 (Mitutoyo)
- h) Poder de cobertura
- Criptômetro de Fundo preto x branco ref. 302 (Sheen Instruments Ltd)
- i) Cor (Notação Munsell Highway)
- Espectrofotômetro Coloreye XTH (Gretag Macbeth)
 - Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
- j) Flexibilidade
- Cilindro metálico com $\varnothing = 12,7$ mm
 - Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
- k) Resistência à água e gasolina
- Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
- l) Resistência ao calor
- Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
 - Estufa modelo 119, faixa 50°C a 300°C (Fabbe Ltda.)
- m) Resistência ao intemperismo artificial (400h)
- Single Enclosed Carbon –Arc Lamp 18WT (Atlas)
 - Extensor de espessura AR 3825-A (Gardner)
- n) Identificação do veículo não volátil
- Espectrofotômetro de infravermelho – Spectrum One FT-IR (Perkin Elmer)

O controle da temperatura ambiente e da umidade foi realizado com Relógio Termo-Higrômetro MT 241 (Minipa).

Para a aplicação de microondas foi utilizada uma cavidade multimodal em batelada com dimensões internas de L = 410 mm, P = 385 mm e H = 270 mm, que resulta no volume útil de 42 litros, conforme Figura 25.



Figura 25 - Cavidade multimodal em batelada

A cavidade multimodal em batelada mostrada na figura anterior foi especialmente adaptada para o estudo da secagem de filmes de tinta acrílica a base de água.

A essa cavidade foi acoplado 1 (um) gerador de microondas (magnetron) de frequência de 2,45 GHz com potência variável até 2 kW, item 8 da Figura 26.

O gerador de microondas de frequência de 2,45 GHz é alimentado por uma fonte de alta tensão, item 10 da Figura 26 e é devidamente protegido com circulador contra o retorno da potência refletida de microondas, item 6 da Figura 26. As medidas de potência irradiada durante os ensaios foram realizadas por meio de acopladores direcionais e medidores de potência de microondas, itens 5 e 7 da Figura 26.

O ajuste da potência de microondas a ser irradiada e respectiva leitura, bem como a leitura da potência refletiva são realizadas no módulo denominado de *Power Meter*, item 9 da Figura 26.

A cavidade multimodal em batelada é provida de um sistema de espalhamento de ondas, denominado “corneta”, conforme item 3 da Figura 26. O espalhamento de ondas destina-se a proporcionar uma melhor distribuição interna das microondas com o objetivo de uma aplicação mais homogênea das microondas nas amostras em ensaio.

As ondas são conduzidas até a cavidade multimodal por intermédio de guias de ondas que

podem ser retas, curvas em vários graus ou flexíveis, conforme item 4 da Figura 26. Essas formas de guia são necessárias para possibilitar a condução das ondas desde o magnetron até a cavidade multimodal de batelada.

Na lateral da cavidade foi montado um soprador de ar com sistema de controle do fluxo e anemômetro de hélice para medida da velocidade, uma vez que uma das variáveis de ensaio foi a velocidade de ar insuflado no interior da cavidade, conforme item 2 da Figura 26. O ar insuflado era o próprio ar do meio ambiente sem mudança de sua temperatura e umidade relativa

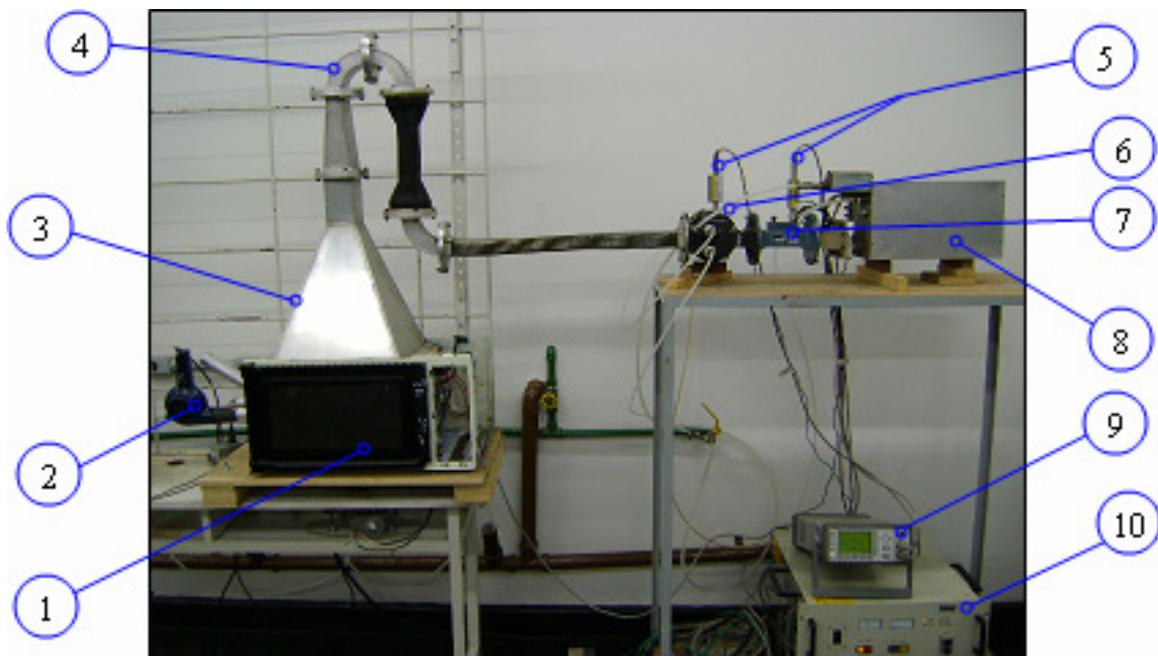


Figura 26 – Detalhamento da cavidade utilizada no presente estudo

Legenda:

- 1 – Cavidade multimodal em batelada
- 2 – Soprador de ar
- 3 – Corneta
- 4 – Guia de ondas
- 5 – Medidores de potência
- 6 – Circulador
- 7 – Acoplador direcional
- 8 – Magnetron
- 9 – Power meter
- 10 – Fonte de alta tensão

Ainda, para garantir maior homogeneidade da intensidade da exposição de cada amostra ao campo de microondas, a cavidade é provida de uma base giratória que, na realização de todos os ensaios, teve a rotação fixada em 14 rpm. Essa base giratória foi dotada de um gabarito para permitir o mesmo posicionamento das amostras no interior da cavidade, conforme Figura 27.

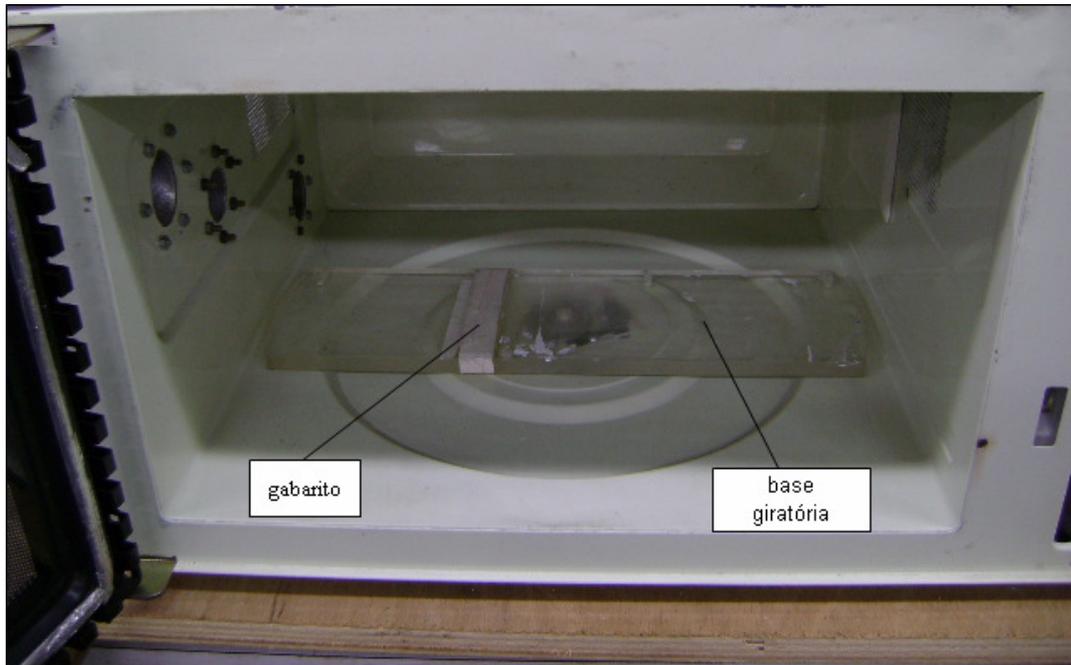


Figura 27 - Vista interna da cavidade multimodal em batelada utilizada neste estudo

Todos os testes associados com aplicação de microondas foram realizados no Laboratório de Microondas do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.

5.3 Métodos

5.3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho envolveu o estudo de três parâmetros: a variação do fluxo de ar na cavidade, o tempo de exposição do corpo de prova a microondas e a intensidade de potência de microondas aplicada.

Conforme mencionado no item 5.1, no estudo foi utilizada uma amostra de tinta na cor branca de formulação comercial, ou seja, com os mesmos teores de resina, aditivos, solvente, dolomita e dióxido de titânio das tintas utilizadas na sinalização horizontal.

Inicialmente, todos os ensaios previstos na norma ABNT NBR 13699 foram realizados antes do início dos experimentos com a aplicação de microondas. Esse procedimento foi adotado para garantia de que a amostra selecionada estava atendendo os requisitos da referida norma.

Somente após essa verificação foi dado início ao trabalho com a aplicação de microondas em corpos de prova para determinar as condições extremas de trabalho em termos de tempo de secagem.

No desenvolvimento do estudo, ao invés de trabalhar com o valor da potência de microondas aplicada, trabalhou-se com o valor da potência específica que é a potência de microondas aplicada dividida pela massa de tinta submetida à aplicação (W/g).

A massa de tinta aplicada nos painéis sofre grande variação uma vez que tal aplicação é feita manualmente com o uso de extensor, que apesar de aplicar a tinta com espessura e largura praticamente constantes, uma vez que esses parâmetros são funções das características do extensor utilizado, o comprimento da faixa de tinta aplicada pode sofrer sensível variação de um painel para outro.

Para minimizar o efeito da variação da massa de tinta aplicada em cada corpo de prova e para se trabalhar dentro de certo grau de confiança, a primeira providência foi a construção de um dispositivo auxiliar construído com o objetivo de uniformizar a massa aplicada (Figura 28).

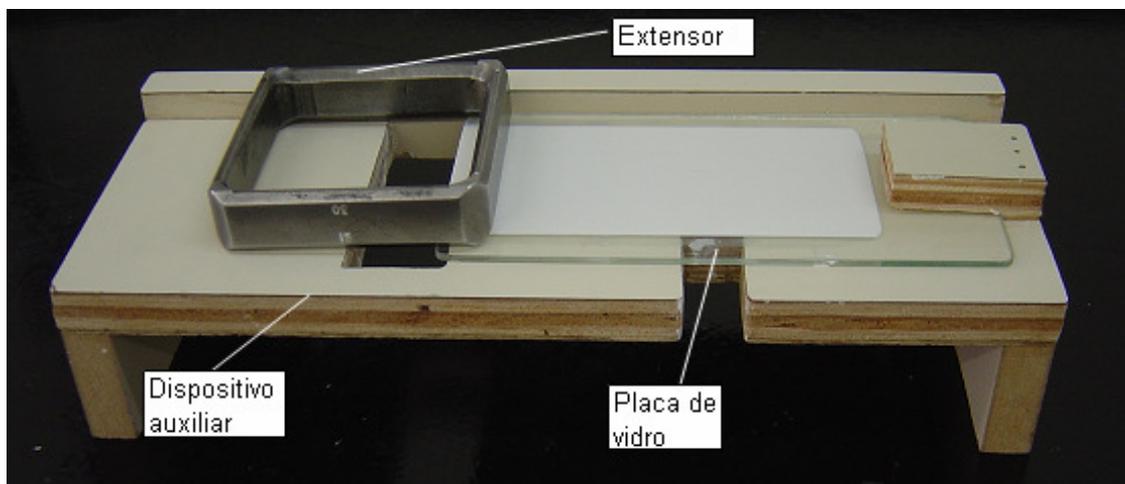


Figura 28 - Dispositivo auxiliar para aplicação de tinta

Quanto à potência de microondas aplicada, sua intensidade pode ser fixada e controlada pelo sistema de monitoração do equipamento de aplicação de microondas, mas o mesmo não ocorre com a massa de tinta aplicada que, apesar do uso do extensor com o dispositivo auxiliar de aplicação, ela ainda pode sofrer pequena variação entre uma aplicação e outra.

Para resolver o problema relacionado com a variação da massa de tinta aplicada, foi feito um estudo para avaliar se a média da massa de tinta aplicada permanecia dentro de um intervalo de confiança fixado.

Para a determinação da média da massa de tinta aplicada no corpo de prova e do intervalo de confiança, foi feita a aplicação de tinta em 12 (doze) corpos de prova (painéis de vidro) com o uso do extensor e do dispositivo auxiliar para aplicação.

Importante destacar que a tinta aplicada nesses corpos de prova foi da amostra selecionada e aprovada para o trabalho e a aplicação ocorreu em ambiente com temperatura e umidade relativa dentro do intervalo exigido pela norma ABNT NBR 13699.

Os resultados obtidos com o experimento estão apresentados a seguir na Tabela 13:

Tabela 13 - Massa de tinta aplicada

Temperatura ambiente	24,9 °C
Umidade Relativa	52%
PAINEL	MASSA TINTA(g)
1	6,56
2	6,72
3	6,32
4	6,51
5	6,49
6	6,55
7	6,65
8	6,54
9	6,54
10	6,86
11	6,44
12	6,58

Com os valores obtidos de massa aplicada nos 12 (doze) corpos de prova, procedeu-se com o cálculo do intervalo de confiança, considerando o tamanho da amostra $n = 12$, grau de confiança $p = 0,90$ e probabilidade de erro $\alpha = 0,10$ (probabilidade de o valor estar fora do intervalo de confiança).

O intervalo de confiança é dado por:

$$\mu = \bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Onde:

- μ representa a média estimada para a população
- \bar{x} representa a média amostral
- $t_{\alpha/2}$ é o valor de uma função estatística específica, chamada “distribuição t” ou “de Student”
- s representa o desvio padrão amostral
- n representa o tamanho da amostra

Com os valores das massas dos 12 (doze) corpos de prova, foi possível determinar o intervalo de confiança com os extremos dados por $\mu_{\text{máx}}$ e $\mu_{\text{mín}}$, conforme apresentado a seguir:

- $\bar{x} = 6,56 \text{ g}$
- $s = 0,1363 \text{ g}$
- $t_{\alpha/2} (P=90\%, \mu=10\%, \phi=n-1=11) = 1,796$
- $\mu_{\text{máx}} = 6,63 \text{ g}$
- $\mu_{\text{mín}} = 6,49 \text{ g}$

5.3.2 ENSAIOS PRELIMINARES

Definida assim a média de massa de tinta aplicada nos corpos de prova e o intervalo de confiança, o próximo passo foi a determinação dos extremos das três variáveis de trabalho (potência específica de microondas, tempo de exposição à microondas e velocidade de ar na cavidade) que foram determinados empiricamente e isso foi possível com a realização de testes preliminares.

Para a potência de microondas foram fixados o extremo superior em 400 W e inferior em 100 W, respectivamente, e para a velocidade de ar na cavidade foram fixados os extremos de 1,70 m/s e 0,83 m/s.

Fixados os extremos das duas variáveis mencionadas, os extremos do tempo de exposição foram conseguidos por observação de cada corpo de prova exposto as microondas, procedendo-se da seguinte forma:

- fixação da potência de microondas em 400 W;
- obtenção da massa do painel;
- aplicação da tinta no painel;
- obtenção da massa da tinta aplicada, mediante pesagem do painel com a tinta;
- exposição do painel a microondas com marcação do tempo de exposição;
- observação do painel para interrupção da aplicação de microondas no momento em que o filme apresentasse bolhas ou fissuras.
- retirada do corpo de prova e teste com o *pick-up time*.

Cabe observar que nessa fase do trabalho, quando foram feitos os ensaios, houve por bem incluir no procedimento de ensaio a medição da massa úmida de tinta aplicada em cada corpo de prova para verificar se tal massa estava dentro do intervalo de confiança anteriormente estabelecido.

O procedimento apresentado expunha os corpos de provas ao colapso e com isso foi possível determinar o tempo de exposição ligeiramente inferior ao de colapso para que fosse obtido um filme de tinta sem formação de bolhas ou fissuras devidas à ebulição do solvente água. Esse tempo foi determinado em 40 segundos e fixado como o limite superior para o tempo de exposição à microondas.

O limite inferior para o tempo de exposição à microondas foi fixado em 10 segundos, pois abaixo desse tempo de exposição, com a potência de microondas em 100 W e velocidade de ar na cavidade em 0,83 m/s, o tempo de secagem do filme de tinta ficava muito próximo do tempo de secagem sem a aplicação de microondas.

5.3.3 ENSAIOS EFETIVOS

Os ensaios efetivos, conforme determina a norma, foram realizados com a aplicação da tinta em painéis de vidro.

Cada ensaio foi realizado conforme o procedimento a seguir:

- a) ajuste dos parâmetros de ensaio (intensidade de microondas e fluxo de ar) na cavidade de microondas;
- b) homogeneização da tinta com uso de espátula;
- c) colocação do painel de vidro sobre o dispositivo auxiliar para a aplicação da tinta;
- d) aplicação da tinta sobre o painel de vidro com uso de extensor com abertura de 0,4mm;
- e) colocação do painel de vidro sobre a base giratória da cavidade de microondas e exposição do mesmo a intensidade de microondas, velocidade de ar e tempo estipulados para cada ensaio, conforme delineamento;
- f) interrupção da exposição ao término do tempo estipulado;
- g) utilização do *pick up time* para determinação do tempo de secagem;
- h) apontamento de todas as informações relativas ao ensaio;
- i) repetição do procedimento até a conclusão de todos os ensaios e de todas as repetições constantes do delineamento.

5.3.4 SECAGEM NO PICK-UP TIME

Dentre os vários requisitos constantes na norma ABNT NBR 13699, o ensaio denominado “Tempo de secagem, *no pick-up time* (extensor de 0,4 mm), minutos (máximo)”, normalizado pela ABNT, conforme a norma NBR 12033, foi o mais realizado durante o trabalho e por esse motivo será apresentado um descritivo do mesmo.

A aparelhagem utilizada para a realização do ensaio é:

- cilindro de aço com anéis de borracha, com massa de $(5.386 \pm 0,028)$ g, Figura 29,
- rampa de aço,
- espátula de madeira,
- placa de vidro com aproximadamente 120mm x 20mm x 3mm,
- extensor com abertura de 0,4mm,
- cronômetro.

O ensaio de “Tempo de secagem, *no pick-up time*” deve ser realizado conforme o procedimento a seguir:

- misturar cuidadosamente a tinta a ser examinada, com a espátula de madeira, até consistência homogênea,
- aplicar a tinta, com o extensor, sobre a placa de vidro previamente limpa e acionar o cronômetro,
- Deixar a placa na posição horizontal por alguns segundos, nas condições de temperatura de (25 ± 2) °C e umidade relativa do ar entre 50% e 60%,
- Colocar a placa de vidro de tal forma que sua maior dimensão fique perfeitamente encostada no final da rampa do aparelho,
- Tirar o cilindro do suporte e deixar rolar livremente sobre a rampa e a placa de vidro,
- Repetir o mesmo procedimento em intervalos regulares, mudando a posição da placa, de modo a evitar que o cilindro role sobre o mesmo ponto da película, até que a tinta não

fique aderida aos anéis de borracha do cilindro,

- Parar o cronômetro e anotar o tempo decorrido

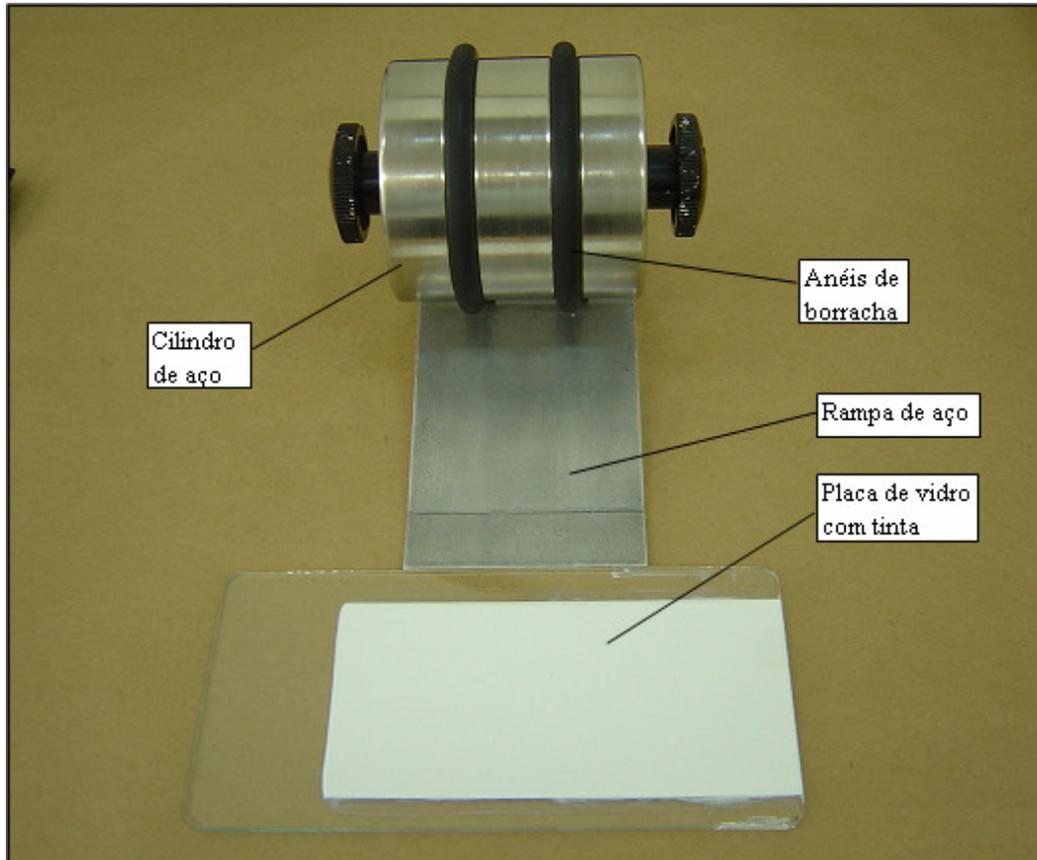


Figura 29 - Pick-time

O tempo de secagem no *pick-time*, em minutos, deve ser o tempo entre a pintura da placa e o tempo em que a tinta não mais fique aderida nas borrachas do cilindro de aço.

Se a tinta ficar ligeiramente aderida nas borrachas do cilindro de aço, significa que o tempo de secagem no *pick-time* está muito próximo. Assim, não haverá tempo para a limpeza das borrachas para novo teste e o recomendado, nessa situação, é que haja uma defasagem da ordem de 120^0 no posicionamento do cilindro na rampa em relação ao último posicionamento do mesmo.

5.3.5 *CONTROLE DA QUALIDADE DA TINTA DO LOTE*

Para caracterização da amostra, o controle da qualidade da tinta foi em conformidade com a norma ABNT NBR 13699, vide Tabela 11 e Tabela 12, e executado pela equipe do Laboratório de Tintas da Divisão de Ensaios e Análises do Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia.

Os resultados dessa caracterização serviram para avaliar o atendimento aos requisitos da norma e, foram adotados como os parâmetros de comparação nos ensaios de aplicação de microondas para a avaliação do efeito da introdução da técnica de irradiação.

5.3.6 *CONTROLE DA QUALIDADE DO FILME DA TINTA ACRÍLICA À BASE DE ÁGUA PARA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL*

Definida a melhor combinação dos parâmetros de ensaio, procedeu-se com a preparação de painéis, nessa melhor combinação, para a realização dos ensaios para avaliação do atendimento aos requisitos da norma ABNT NBR 13699 e, também, para avaliação de eventuais efeitos surgidos com a aplicação de microondas.

Os ensaios possíveis de serem realizados com a aplicação de microondas, portanto com o uso de painéis, são os seguintes:

- tempo de secagem, no *pick-up time*, com umidade relativa a 90% (extensor de 0,4mm), minutos (máximo) – painel de vidro
- tempo de secagem, no *pick-up time* (extensor de 0,4mm), minutos (máximo) – painel de vidro
- brilho a 60° unidade máxima – painel de folha de flandres
- resistência à abrasão, litros (mínimo) – painel de alumínio
- cor (notação “Munsell Highway”) - painel de folha de flandres
- flexibilidade - painel de folha de flandres
- resistência à água – painel de vidro

- resistência ao calor - painel de folha de flandres
- resistência à gasolina, 2 horas – painel de vidro
- resistência ao intemperismo artificial, 400 horas – painel de alumínio

Os ensaios anteriormente mencionados foram realizados em painéis com aplicação de microondas para comparação desses resultados com os dos ensaios sem aplicação de microondas.

Os ensaios realizados, conforme preconizados na norma ABNT NBR 13699, exigem que a tinta em estudo seja aplicada em painéis de vidro (Figura 30), de folha de flandres (Figura 31) ou de alumínio (Figura 32).



Figura 30 - Painel de vidro



Figura 31 - Painel de folha de flandres



Figura 32 - Painel de alumínio

5.3.7 *PREPARAÇÃO DE PAINÉIS*

Esses ensaios foram executados com a aplicação da tinta nos painéis, conforme procedimento de ensaio já descrito no item 5.3.3, e cada painel foi analisado conforme a norma ABNT NBR 13699 sendo os respectivos resultados comparados com os obtidos nas amostras sem a aplicação de microondas para verificação desses mesmos requisitos.

Os painéis de vidro, de folha de flandres e de alumínio (Figura 33), foram preparados conforme determina a norma ABNT NBR 13699, sendo a tinta aplicada com o uso do extensor e do dispositivo auxiliar para aplicação de tinta, de forma a propiciar a camada úmida exigida em cada ensaio.

Para a realização dos ensaios foram necessários 12 painéis de vidro, 12 painéis de folhas de flandres e 6 painéis de alumínio para a preparação dos corpos de provas. O número especificado de painéis destinou-se à realização de 3 repetições de cada requisito que foram analisadas de forma a garantir uma maior confiabilidade na análise dos resultados obtidos para cada requisito avaliado.



Figura 33 - Painéis de vidro, alumínio e folha de flandres submetidas à microondas

Com o intuito de verificar o comportamento da tinta após o envelhecimento artificial da mesma, um painel sem a aplicação de microondas e outros três com aplicação de microondas foram submetidos ao ensaio de intemperismo em equipamento a arco de carvão, por um período de 400 horas. Decorrido o tempo exigido de exposição ao intemperismo, cada painel foi avaliado com relação à cor e à luminância e foi verificado se os resultados, tanto do painel que não foi submetido à aplicação de microondas, quanto daqueles que foram submetidos à aplicação de microondas, atendiam a exigência da norma quanto ao ensaio de intemperismo.

5.3.8 *DELINEAMENTO ESTATÍSTICO*

O delineamento adotado foi o delineamento composto central (CCD) (51), com as três variáveis anteriormente citadas, ou seja, potência específica de microondas aplicada, tempo de exposição do corpo de prova a microondas e velocidade de ar na cavidade.

Com as informações obtidas nos ensaios preliminares, foi montado o delineamento experimental, em sua primeira etapa denominada FATORIAL, apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Delineamento experimental – ETAPA FATORIAL

Parâmetro								
Teste	Variáveis reduzidas			Variáveis efetivas			Tempo aplicação microondas	Velocidade do ar
	Potência específica	Tempo aplicação microondas	Velocidade do ar	Potência	Massa média amostra	Potência específica		
	(x1)	(x2)	(x3)			(z1)		
	(W/g)	(s)	(m/s)	(W)	(g)	(W/g)	(s)	(m/s)
1	-1	-1	-1	100	6,56	15,24	10	0,83
2	+1	-1	-1	400	6,56	60,98	10	0,83
3	-1	+1	-1	100	6,56	15,24	40	0,83
4	+1	+1	-1	400	6,56	60,98	40	0,83
5	-1	-1	+1	100	6,56	15,24	10	1,70
6	+1	-1	+1	400	6,56	60,98	10	1,70
7	-1	+1	+1	100	6,56	15,24	40	1,70
8	+1	+1	+1	400	6,56	60,98	40	1,70

A etapa fatorial foi realizada com 3 (três) repetições, para melhor qualificação da reprodutibilidade dos resultados.

A ordem de execução dos testes, em cada repetição, foi ao acaso sem restrição.

Na seqüência do delineamento experimental, realizou-se a segunda etapa do delineamento experimental, denominada de PONTO CENTRAL E EM ESTRELA que está apresentada na Tabela 15.

Assim como na etapa fatorial, a etapa ponto central e em estrela também foi realizada com 3 (três) repetições, para melhor qualificação da reprodutibilidade dos resultados.

A ordem da execução, em cada repetição, foi ao acaso sem restrição.

Tabela 15 - Delineamento experimental – ETAPA PONTO CENTRAL E EM ESTRELA

Parâmetro								
Teste	Variáveis reduzidas			Variáveis efetivas				
	Potência específica	Tempo aplicação microondas	Velocidade do ar	Potência	Massa média amostra	Potência específica	Tempo aplicação microondas	Velocidade do ar
	(x1)	(x2)	(x3)			(z1)	(z2)	(z3)
	(W/g)	(s)	(m/s)	(W)	(g)	(W/g)	(s)	(m/s)
9	0	0	0	250	6,56	38,11	25	1,27
10	+1,68	0	0	502	6,56	76,52	25	1,27
11	-1,68	0	0	0	6,56	0,00	25	1,27
12	0	+1,68	0	250	6,56	38,11	50	1,27
13	0	-1,68	0	250	6,56	38,11	0	1,27
14	0	0	+1,68	250	6,56	38,11	25	2,00
15	0	0	-1,68	250	6,56	38,11	25	0,54

O valor |1,68| é calculado por $\alpha = \sqrt[4]{n_f}$, onde n_f representa o número de testes na parte fatorial ($n_f = 8$).

Esse delineamento foi aplicado para a característica da tinta denominada “Tempo de secagem, no *pick-up time* (extensor de 0,4 mm), minutos (máximo)”, conforme requisito da norma ABNT NBR 13699 – item 5 da Tabela 11.

A característica da tinta relacionada com o tempo de secagem é muito importante para o trabalho, pois o sucesso na redução do tempo de secagem com a aplicação de microondas, sem prejuízo das demais características, irá refletir na liberação da pista ao tráfego em um tempo menor quando da implantação de uma sinalização horizontal, se comparado ao tempo atualmente necessário para tal liberação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Influência das microondas sobre o tempo de secagem da tinta acrílica à base de água para sinalização horizontal

Após a caracterização da tinta no Laboratório de Tintas da Divisão de Ensaio foi realizado, conforme delineamento apresentado na Tabela 14 e Tabela 15, ensaios com aplicação de microondas para, com isso, determinar o tempo de secagem do filme de tinta dentre as várias combinações das variáveis em estudo.

Tabela 16 – Resultados – ETAPA FATORIAL, PONTO CENTRAL E ESTRELA

Variáveis			Constantes	
Potência específica (W/g)	15,24		Formulação tinta	amostra única
	60,98		Temperatura ambiente (°C)	23 °C
Velocidade ar (m/s)	0,83		Umidade ambiente (%)	55%
	1,70		Pressão atmosférica	706 mmHg
Tempo de exposição (s)	10			
	40			

Parâmetros						
Teste	Potência específica	Tempo aplicação microondas	Velocidade do ar	Tempo de secagem		
	(W/g)	(s)	(m/s)	1ª repetição	2ª repetição	3ª repetição
	(W/g)	(s)	(m/s)	(s)	(s)	(s)
1	-1	-1	-1	390	405	410
2	+1	-1	-1	330	330	330
3	-1	+1	-1	240	300	360
4	+1	+1	-1	165	165	180
5	-1	-1	+1	375	380	380
6	+1	-1	+1	300	450	420
7	-1	+1	+1	270	270	270
8	+1	+1	+1	150	150	180
9	0	0	0	230	210	240
10	1,68	0	0	135	165	165
11	-1,68	0	0	430	420	410
12	0	1,68	0	180	210	210
13	0	-1,68	0	495	510	510
14	0	0	1,68	150	150	150
15	0	0	-1,68	150	165	165

Os ensaios realizados no Laboratório de Microondas com monitoramento das variáveis de trabalho e, também, da condição ambiente referentes à umidade relativa do ar e a temperatura, resultaram na coleção de dados apresentados na Tabela 16.

6.2 Análise de regressão aplicada aos resultados do tempo de secagem

Com os dados obtidos (Tabela 16), procedeu-se a uma análise de regressão para determinação da equação que representa o fenômeno de secagem incentivada por microondas de tinta de sinalização e assim definir como os parâmetros do ensaio: potência de microondas aplicada, tempo de exposição do corpo de prova a microondas e intensidade de fluxo de ar na cavidade influem sobre o tempo de secagem.

Cabe ressaltar que o estudo em questão foi realizado em triplicata para assegurar uma melhor significância dos resultados dos ensaios.

O processamento desses dados está apresentado na Tabela 17.

A regressão obtida, em termos de variáveis reduzidas é:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \\ + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 - b_{33}x_3^2$$

ou

$$y = 3,23 - 0,90x_1 - 1,35x_2 - 0,02x_3 - 0,35x_1x_2 + 0,20x_1x_3 \\ - 0,17x_2x_3 - 0,12x_1x_2x_3 + 0,65x_1^2 + 1,03x_2^2 - 0,13x_3^2$$

Onde:

y : tempo de secagem calculado (min)

b(1, 2, 3, 12, 13, 23, 123, 11, 22, 33) : parâmetros da regressão

x₁ : variável reduzida para o parâmetro – potência específica (W/g)

x₂ : variável reduzida para o parâmetro – tempo de aplicação de microondas (min)

x₃ : variável reduzida para o parâmetro – velocidade do ar (m/min)

A significância destes parâmetros determinados pela regressão foi verificada por um teste *t* de *Student*, com:

- Número de variáveis $n = 3$
- Grau de liberdade $GL = n - 1$ $GL = 2$
- Grau de confiança $p = 0,90$
- Da tabela de *Student* $tcrit = 2,920$

Para verificar a significância das variáveis, procedeu-se com o cálculo de *t* para cada um dos parâmetros de regressão obtido (51), sabendo que:

- $t_0 = \frac{b_0}{S_{b_0}}$ $t_j = \frac{b_j}{S_{b_j}}$

- $t_{uj} = \frac{b_{uj}}{S_{b_{uj}}}$ $t_{jj} = \frac{b_{jj}}{S_{b_{jj}}}$

- $S_{b_0} = \frac{Se}{\sqrt{N}} = \frac{Se}{\sqrt{45}} = 6,7082$

- para $k < 5$ $S_{b_j} = \frac{Se}{\sqrt{2^k + 2\alpha^2}}$

- como $k = 3$ $S_{b_j} = \frac{Se}{\sqrt{2^3 + 2(1,68)^2}} = 3,6939$

- para $k < 5$ $S_{b_{uj}} = \frac{Se}{\sqrt{2^k}} = \frac{Se}{\sqrt{2^3}} = 2,8284$

- para $k < 5$

$$S_{b_{jj}} = \frac{Se}{\sqrt{2^k (1 - \overline{x_j^2}) + 2(\alpha^2 - \overline{x_j^2})^2 + (2k - 2n_0)(\overline{x_j^2})^2}} = 3,6298$$

sendo:

- Se = desvio padrão
- N = número de dados
- m_0 = número de pontos no centro
- k = número de variáveis testadas

- $\overline{x_j^2} = \frac{1}{N} \sum x_j^2$

Tabela 17 - Regressão quadrática para a característica “tempo de secagem”

Teste	Variáveis reduzidas				Parâmetros									
	x0	x1	x2	x3	y	x0*y	x1*y	x2*y	x3*y	x1*x2*y	x1*x3*y	x2*x3*y	x1*x2*x3*y	
1	1	-1	-1	-1	6,50	6,500	-6,500	-6,500	-6,500	6,500	6,500	6,500	-6,500	
	1	-1	-1	-1	6,75	6,750	-6,750	-6,750	-6,750	6,750	6,750	6,750	-6,750	
	1	-1	-1	-1	6,50	6,500	-6,500	-6,500	-6,500	6,500	6,500	6,500	-6,500	
2	1	1	-1	-1	5,50	5,500	5,500	-5,500	-5,500	-5,500	-5,500	5,500	5,500	
	1	1	-1	-1	5,50	5,500	5,500	-5,500	-5,500	-5,500	-5,500	5,500	5,500	
	1	1	-1	-1	5,50	5,500	5,500	-5,500	-5,500	-5,500	-5,500	5,500	5,500	
3	1	-1	1	-1	4,00	4,000	-4,000	4,000	-4,000	-4,000	4,000	-4,000	4,000	
	1	-1	1	-1	5,00	5,000	-5,000	5,000	-5,000	-5,000	5,000	-5,000	5,000	
	1	-1	1	-1	6,00	6,000	-6,000	6,000	-6,000	-6,000	6,000	-6,000	6,000	
4	1	1	1	-1	2,75	2,750	2,750	2,750	-2,750	2,750	-2,750	-2,750	-2,750	
	1	1	1	-1	2,75	2,750	2,750	2,750	-2,750	2,750	-2,750	-2,750	-2,750	
	1	1	1	-1	3,00	3,000	3,000	3,000	-3,000	3,000	-3,000	-3,000	-3,000	
5	1	-1	-1	1	6,25	6,250	-6,250	-6,250	6,250	6,250	-6,250	-6,250	6,250	
	1	-1	-1	1	6,33	6,330	-6,330	-6,330	6,330	6,330	-6,330	-6,330	6,330	
	1	-1	-1	1	6,33	6,330	-6,330	-6,330	6,330	6,330	-6,330	-6,330	6,330	
6	1	1	-1	1	5,00	5,000	5,000	-5,000	5,000	-5,000	5,000	-5,000	-5,000	
	1	1	-1	1	7,50	7,500	7,500	-7,500	7,500	-7,500	7,500	-7,500	-7,500	
	1	1	-1	1	7,00	7,000	7,000	-7,000	7,000	-7,000	7,000	-7,000	-7,000	
7	1	-1	1	1	4,50	4,500	-4,500	4,500	4,500	-4,500	-4,500	4,500	-4,500	
	1	-1	1	1	4,50	4,500	-4,500	4,500	4,500	-4,500	-4,500	4,500	-4,500	
	1	-1	1	1	4,50	4,500	-4,500	4,500	4,500	-4,500	-4,500	4,500	-4,500	
8	1	1	1	1	2,50	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
	1	1	1	1	2,50	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
	1	1	1	1	3,00	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
9	1	0	0	0	3,50	3,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	0	2,50	2,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	0	4,00	4,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
10	1	1,68	0	0	2,25	2,250	3,780	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	1,68	0	0	2,75	2,750	4,620	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	1,68	0	0	2,75	2,750	4,620	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
11	1	-1,68	0	0	7,17	7,170	-12,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	-1,68	0	0	7,00	7,000	-11,760	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	-1,68	0	0	6,83	6,830	-11,474	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
12	1	0	1,68	0	3,00	3,000	0,000	5,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	1,68	0	3,50	3,500	0,000	5,880	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	1,68	0	3,50	3,500	0,000	5,880	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
13	1	0	-1,68	0	8,25	8,250	0,000	-13,860	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	-1,68	0	8,50	8,500	0,000	-14,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	-1,68	0	8,50	8,500	0,000	-14,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
14	1	0	0	1,68	2,50	2,500	0,000	0,000	4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	1,68	2,50	2,500	0,000	0,000	4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	1,68	2,50	2,500	0,000	0,000	4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	
15	1	0	0	-1,68	2,50	2,500	0,000	0,000	-4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	-1,68	2,75	2,750	0,000	0,000	-4,620	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1	0	0	-1,68	2,75	2,750	0,000	0,000	-4,620	0,000	0,000	0,000	0,000	
	x0	x1	x2	x3	y	x0*y	x1*y	x2*y	x3*y	x1*x2*y	x1*x3*y	x2*x3*y	x1*x2*x3*y	

Σ =	209,160	-36,920	-55,280	-0,680	-9,340	4,840	-4,160	-2,840
-----	---------	---------	---------	--------	--------	-------	--------	--------

(continua)

Tabela 17 - Regressão quadrática para a característica “tempo de secagem” (continuação)

Teste	Parâmetros													
	x_0^2	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_0*x_1^2$	$x_0*x_2^2$	$x_0*x_3^2$	$x_1^2*x_1^2$	$x_1^2*x_2^2$	$x_1^2*x_3^2$	$x.^2*x.^2$	$x.^2*x_3^2$	$x_3^2*x_3^2$	$x_1^2*x_2^2*x_3^2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
11	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,8224	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
12	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
13	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
	1	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,96594	0	0	0
14	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
15	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
	1	0	0	2,8224	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,9659418	0	0
	x_0^2	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_0*x_1^2$	$x_0*x_2^2$	$x_0*x_3^2$	$x_1^2*x_1^2$	$x_1^2*x_2^2$	$x_1^2*x_3^2$	$x.^2*x.^2$	$x.^2*x_3^2$	$x_3^2*x_3^2$	$x_1^2*x_2^2*x_3^2$
$\Sigma =$	45,000	40,934	40,934	40,934	40,934	40,934	40,934	71,796	24,000	24,000	71,796	24,000	71,796	24,000

(continua)

Tabela 17 - Regressão quadrática para a característica “tempo de secagem” (continuação)

Teste	Parâmetros													
	x_0^2	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_0*x_1^2$	$x_0*x_2^2$	$x_0*x_3^2$	$x_1^2*x_1^2$	$x_1^2*x_2^2$	$x_1^2*x_3^2$	$x_2^2*x_2^2$	$x_2^2*x_3^2$	$x_3^2*x_3^2$	$x_1^2*x_2^2*x_3^2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
11	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
	1	2,822	0	0	2,8224	0	0	7,965942	0	0	0	0	0	0
12	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
13	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
	1	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	7,965942	0	0	0
14	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
15	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
	1	0	0	2,822	0	0	2,8224	0	0	0	0	0	7,965942	0
	x_0^2	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_0*x_1^2$	$x_0*x_2^2$	$x_0*x_3^2$	$x_1^2*x_1^2$	$x_1^2*x_2^2$	$x_1^2*x_3^2$	$x_2^2*x_2^2$	$x_2^2*x_3^2$	$x_3^2*x_3^2$	$x_1^2*x_2^2*x_3^2$
$\Sigma =$	45,000	40,934	40,934	40,934	40,934	40,934	40,934	71,796	24,000	24,000	71,796	24,000	71,796	24,000

(continua)

Tabela 17 - Regressão quadrática para a característica “tempo de secagem” (continuação)

Teste	Parâmetros				
	$y^* x0^2$	$y^* x1^2$	$y^* x2^2$	$y^* x3^2$	y^2
1	6,5	6,5	6,5	6,5	42,2500
	6,75	6,75	6,75	6,75	45,5625
	6,5	6,5	6,5	6,5	42,2500
2	5,5	5,5	5,5	5,5	30,2500
	5,5	5,5	5,5	5,5	30,2500
	5,5	5,5	5,5	5,5	30,2500
3	4	4	4	4	16,0000
	5	5	5	5	25,0000
	6	6	6	6	36,0000
4	2,75	2,75	2,75	2,75	7,5625
	2,75	2,75	2,75	2,75	7,5625
	3	3	3	3	9,0000
5	6,25	6,25	6,25	6,25	39,0625
	6,33	6,33	6,33	6,33	40,0689
	6,33	6,33	6,33	6,33	40,0689
6	5	5	5	5	25,0000
	7,5	7,5	7,5	7,5	56,2500
	7	7	7	7	49,0000
7	4,5	4,5	4,5	4,5	20,2500
	4,5	4,5	4,5	4,5	20,2500
	4,5	4,5	4,5	4,5	20,2500
8	2,5	2,5	2,5	2,5	6,2500
	2,5	2,5	2,5	2,5	6,2500
	3	3	3	3	9,0000
9	3,5	0	0	0	12,2500
	2,5	0	0	0	6,2500
	4	0	0	0	16,0000
10	2,25	6,3504	0	0	5,0625
	2,75	7,7616	0	0	7,5625
	2,75	7,7616	0	0	7,5625
11	7,17	20,236608	0	0	51,4089
	7	19,7568	0	0	49,0000
	6,83	19,276992	0	0	46,6489
12	3	0	8,4672	0	9,0000
	3,5	0	9,8784	0	12,2500
	3,5	0	9,8784	0	12,2500
13	8,25	0	23,2848	0	68,0625
	8,5	0	23,9904	0	72,2500
	8,5	0	23,9904	0	72,2500
14	2,5	0	0	7,056	6,2500
	2,5	0	0	7,056	6,2500
	2,5	0	0	7,056	6,2500
15	2,5	0	0	7,056	6,2500
	2,75	0	0	7,7616	7,5625
	2,75	0	0	7,7616	7,5625
	$y^* x0^2$	$y^* x1^2$	$y^* x2^2$	$y^* x3^2$	y^2
$\Sigma =$	209,160	200,804	219,150	163,407	1141,571

Com os dados da Tabela 17, temos os seguintes valores para os erros dos parâmetros (Tabela 18):

Tabela 18 – Cálculo dos erros dos parâmetros da regressão

	Se =	1,3229		sb0 =	0,197203
	N =	45,000			
	k =	3		sbj =	0,358126
	α =	1,68			
	n0 =	3		sbutj =	0,467707
média de	x1^2	0,909653			
média de	x2^2	0,909653		sbjj =	0,364458
média de	x3^2	0,909653			

Esses erros aplicados ao cálculo do fator t, fornecem os dados agrupados na Tabela 19

Tabela 19 – Cálculo do t de Student

	b0			
	3,23			
erro b0:	0,1972027			
t calc (em módulo):	16,3992			
significativo:	S			
	b1	b2	b3	
	-0,90	-1,35	-0,02	
erro bj:	0,358125658			
t calc (em módulo):	-2,5184761	-3,7708926	-0,0463858	
significativo:	S	S	N	
	b12	b13	b23	b123
	-0,39	0,20	-0,17	-0,12
erro butj:	0,467707173			
t calc (em módulo):	-0,8320733	0,4311815	-0,3706023	-0,253007309
significativo:	N	N	N	N
	b11	b22	b33	
	0,65	1,03	-0,13	
erro butj:	0,364457818			
t calc (em módulo):	1,7862815	2,8394462	-0,3605542	
significativo:	N	S	N	

S – significativo

N – Não significativo

Do quadro comparativo dos valores de t, observam-se como parâmetros significativos de regressão o b0, o b1, o b2 e o b22. O b22 foi considerado significativo apesar de seu valor t atingir 2,84, enquanto o valor crítico é de 2,92, ou seja uma diferença de apenas 0,08 que é uma diferença muito pequena.

Para aferir se esta equação efetivamente representa o fenômeno estudado, aplicou-se o teste F à equação da regressão (Tabela 17), obtendo os dados da Tabela 20:

Tabela 20 – Cálculo do Fcrít

l:	4	
N:	45,000	
s ² res =	1,18830297	
F calc =	0,679030268	
GL 1 =	27	
GL 2 =	2	
P =	95	90
Fcrit =	19,5	9,4

Como o Fcalc < Fcrít, podemos afirmar que esta equação representa satisfatoriamente o fenômeno estudado.

Convertendo as variáveis reduzidas de volta para as originais, lembrando que:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_0}{d}$$

a equação original da regressão, fica:

$$y = 9,85 - 0,039 * z_1 - 19,16 * z_2 + 16,48 * z_2^2$$

Onde:

y : tempo de secagem calculado (min)

z₁ : variável original para o parâmetro – potência específica (W/g)

z₂ : variável reduzida para o parâmetro – tempo de aplicação de microondas (min)

Definida a equação quadrática que representa adequadamente o fenômeno, procedeu-se com a plotagem do gráfico mostrado na Figura 34.

Analisando a Figura 34, observa-se que tem o aspecto de uma superfície inclinada com um ponto singular de mudança de inclinação da superfície.

Ainda, pode se observar que o tempo de secagem diminui com o aumento da potência específica e com o aumento do tempo de exposição à microondas, mas fisicamente para uma aplicação de microondas em uma sinalização no campo existem restrições técnicas associadas a velocidade média do equipamento de aplicação da sinalização e da limitação da capacidade dos equipamentos geradores de microondas.

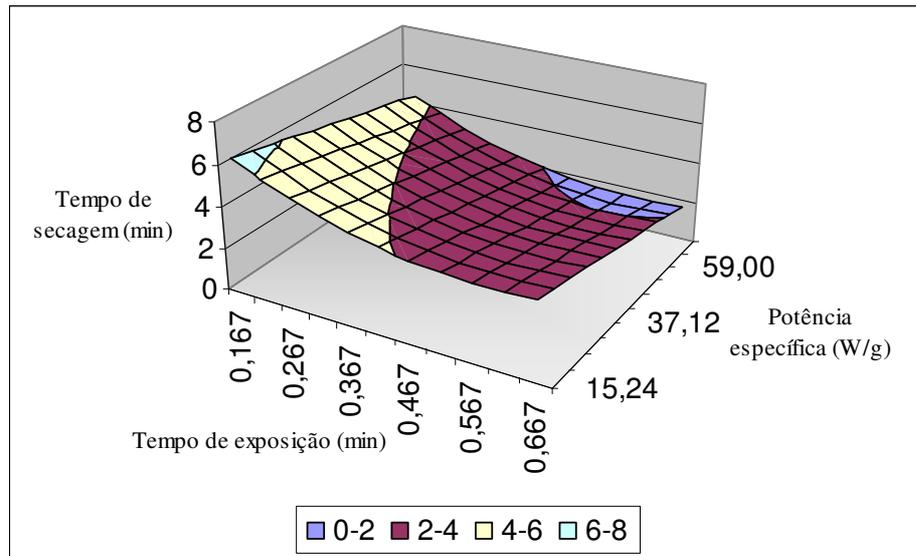


Figura 34 – Gráfico das variáveis de ensaio segundo a equação quadrática obtida

Como a curva não apresenta um ponto de mínimo no intervalo ensaiado e considerando as restrições mencionadas, optou-se em adotar o ponto central para o estudo da influência das microondas sobre a qualidade do filme de tinta acrílica à base de água para sinalização horizontal.

Cabe ressaltar que a melhor combinação reflete a condição mais favorável de secagem do filme de tinta para um processo de sinalização horizontal com a tinta objeto deste estudo.

Desta forma, o tratamento estatístico revelou que a melhor combinação das variáveis de ensaio são as apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Melhor combinação dos parâmetros de ensaio

Variáveis	
Potência específica (W/g)	Tempo aplicação microondas (min)
38,11	0,417

Após a realização de todos os ensaios, conforme delineamento estabelecido, e tratamento estatístico para a determinação da condição mais favorável para ensaio, foram preparados, nessa condição, os painéis necessários para os demais testes exigidos pela norma ABNT NBR 13699 – vide Tabela 11.

6.3 Controle da qualidade do lote da tinta empregada

Após a preparação dos painéis com a aplicação de microondas, os mesmos foram avaliados e os respectivos resultados foram confrontados com os requisitos da norma ABNT NBR 13699 e, também, comparados com os resultados obtidos sem a aplicação de microondas. Desta forma verificou-se não só o atendimento aos requisitos das normas, mas foi possível constatar que não houve nenhum decréscimo da qualidade da tinta quando submetida à aplicação de microondas.

Conforme mencionado no item 5.3.5, a amostra da tinta objeto do trabalho foi caracterizada com ensaios realizados pela equipe do Laboratório de Tintas da Divisão de Ensaios e Análises do Centro de Pesquisas, conforme requisitos da norma ABNT NBR 13699.

Os resultados dessa caracterização estão apresentados na Tabela 22. Os ensaios foram classificados em: requisitos gerais, requisitos quantitativos e requisitos qualitativos e, como se pode observar, todos os requisitos da norma NBR 13699 foram atendidos e, portanto, tratou-se de uma amostra de tinta apropriada para a realização do trabalho.

Tabela 22 – Resultados dos ensaios sem aplicação de microondas

<u>Requisitos gerais:</u>	<u>Encontrados</u>	<u>Exigidos</u>
Aparência no recipiente	ausência de sedimento, nata ou grumo	ausência de sedimento, nata ou grumo
<u>Requisitos quantitativos:</u>		
Consistência UK - Viscosímetro Stomer	80	mín. 80
Estabilidade na armazenagem: - alteração da consistência, UK	1	máx. 10
Massa específica, g/cm ³	1,8	mín. 1,59
Finura de moagem, Hegmann	5	mín. 04
Tempo de secagem "no pick up time":		
- extensor de 0,4mm, minuto	8	máx. 12
- extensor de 0,4mm (umidade relativa a 90%), minuto	18	máx. 20
Brilho a 60°, unidade	2,9	máx. 20
Sólidos, % por volume	73,5	mín. 62,0
Resistência à abrasão, L	100	mín. 100
Poder de cobertura - placa nº 7, mm :	10	máx. 10
<u>Requisitos qualitativos:</u>		
Cor Munsell	N 9,0	N 9,5/N 9,0
Flexibilidade: fissuras, descolamento	ausência	ausência
Resistência à água	inalterada	inalterada
Resistência ao calor	inalterada	inalterada
Resistência a gasolina, 2h	inalterada	inalterada
Resistência ao intemperismo (400h)		
- cor	inalterada	inalterada
- integridade	inalterada	inalterada
3.6. Identificação do veículo não volátil	O espectrograma de absorção de radiações infravermelhas apresenta bandas características de resinas acrílicas.	

6.4 Influência das microondas sobre a qualidade do filme da tinta acrílica a base da água para sinalização horizontal

Com a amostra da tinta devidamente caracterizada, sem a aplicação de microondas, e todos os requisitos da norma ABNT NBR 13699 totalmente atendidos, a amostra pode ser utilizada na etapa do trabalho que tratou da aplicação de microondas com a melhor combinação das variáveis selecionadas para o estudo.

Os painéis preparados nessas condições foram avaliados, também, pela equipe do Laboratório de Tintas da Divisão de Ensaios e Análises do Centro de Pesquisas, para que fosse evidenciado o atendimento aos requisitos desta norma.

Para melhor consistência dos resultados referentes aos ensaios com a aplicação de microondas, optou-se pela realização dos ensaios em triplicata.

Cabe ressaltar que só foram realizados ensaios com aplicação de microondas para aqueles requisitos da norma ABNT NBR 13699, cujos ensaios são realizados com o uso de painéis de vidro, de folhas de flandres ou de alumínio.

Os demais requisitos da norma são verificados mediante a realização de ensaios diretamente na tinta na sua forma líquida, ou seja, sem a necessidade de uso de painéis e, portanto, sem a possibilidade de aplicação de microondas.

Os resultados dos ensaios realizados com a aplicação de microondas estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados dos ensaios com aplicação de microondas

	Encontrados			Exigidos
	Repetições			
	1ª	2ª	3ª	
Requisitos quantitativos:				
Tempo de secagem "no pick up time":				
- extensor de 0,4mm, minuto	3min40s	3min45s	3min40s	máx. 12
- extensor de 0,4mm (umidade relativa a 90%), minuto	15min30s	15min15s	15min30s	máx. 20
Brilho a 60°, unidade	3,2	3,2	3,2	máx. 20
Resistência à abrasão, L	100	100	100	mín. 100
Requisitos qualitativos:				
Cor Munsell	9,3	9,3	9,3	N 9,5/N 9,0
Flexibilidade: fissuras, descolamento	ausência	ausência	ausência	ausência
Resistência à água	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada
Resistência ao calor	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada
Resistência a gasolina, 2h	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada
Resistência ao intemperismo (400h)				
- cor	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada
- integridade	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada

6.4.1 IMAGENS DOS PAINÉIS APÓS ENSAIOS

A seguir estão apresentadas as imagens dos painéis submetidos à aplicação de microondas para a realização dos ensaios de verificação de atendimento a norma ABNT NBR 13699.

As imagens foram feitas após a realização dos ensaios pela equipe da Divisão de Ensaio e Análises.

Cada foto apresentada contém os três painéis (triplicata) de cada um dos ensaios realizados.



Figura 35 - Tempo de secagem no *pick up time* – extensor de 0,4 mm



Figura 36 - Tempo de secagem no *pick up time* – extensor de 0,4 mm (UR de 90%)



Figura 37 - Brilho a 60°



Figura 38 - Resistência à abrasão, L



Figura 39 - Cor Munsell



Figura 40 - Flexibilidade: fissuras, descolamento



Figura 41 - Resistência à água



Figura 42 - Resistência ao calor



Figura 43 - Resistência a gasolina, 2h



Figura 44 - Resistência ao intemperismo (400h) – cor e integridade

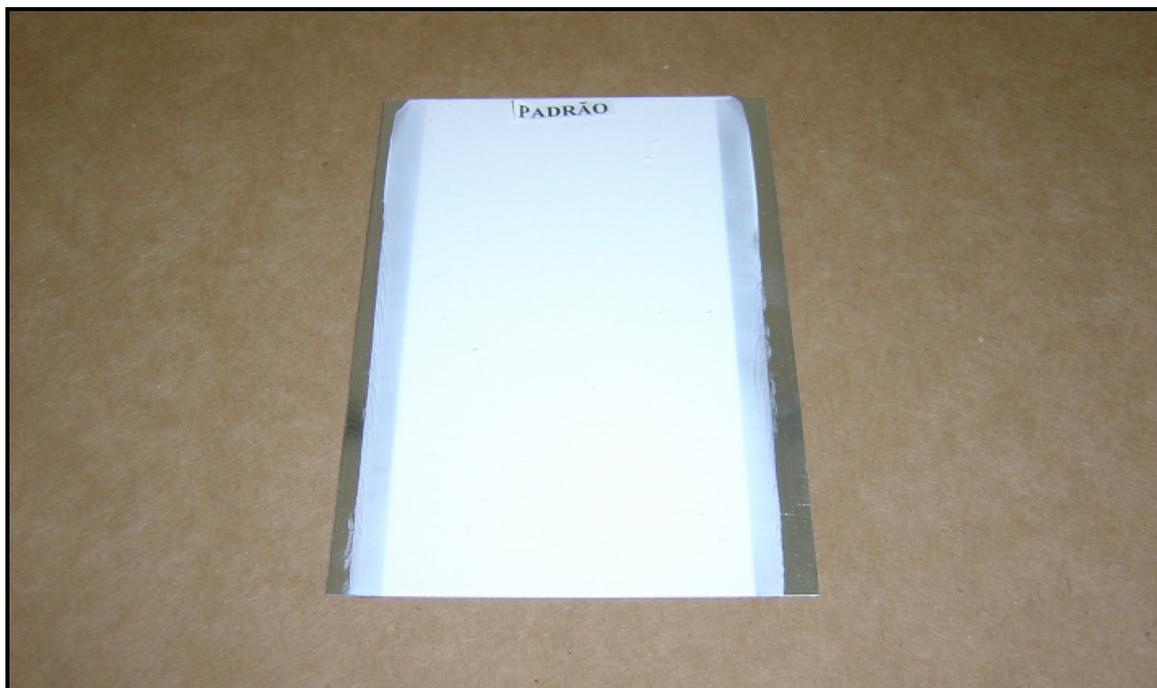


Figura 45 - Painel padrão para comparação

6.4.2 *COMPARATIVO DOS RESULTADOS*

Como pode ser observado na Tabela 22 e na Tabela 23, os resultados obtidos confirmaram que, tanto sem a aplicação de microondas, como com a aplicação de microondas, todos os requisitos da norma ANBT NBR 13699 foram plenamente atendidos, mas ainda coube uma análise para verificar se a qualidade da tinta sofreu alguma alteração com a técnica de aplicação de microondas.

Para isso foi feito um comparativo entre os resultados obtidos sem a aplicação de microondas e os obtidos com a aplicação de microondas. Para maior facilidade de visualização, os dados estão reunidos e comparados na Tabela 24.

Tabela 24 – Comparativo dos resultados

	Ensaio sem Microondas	Ensaio com Microondas			
	Encontrados				Diferença
	Repetições				
	1 ^a	2 ^a	3 ^a		
Requisitos quantitativos:					
Tempo de secagem "no pick up time":					
- extensor de 0,4mm, minuto	8	3min40s	3min45s	3min40s	(a)
- extensor de 0,4mm (umidade relativa a 90%), minuto	18	15min30s	15min15s	15min30s	(b)
Brilho a 60°, unidade	2,9	3,2	3,2	3,2	(c)
Resistência à abrasão, L	100	100	100	100	(d)
Requisitos qualitativos:					
Cor Munsell	9	9,3	9,3	9,3	(c)
Flexibilidade: fissuras, descolamento	ausência	ausência	ausência	ausência	(d)
Resistência à água	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada	(d)
Resistência ao calor	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada	(d)
Resistência a gasolina, 2h	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada	(d)
Resistência ao intemperismo (400h)					
- cor	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada	(d)
- integridade	inalterada	inalterada	inalterada	inalterada	(d)

Legenda:

- (a) – muito representativa
- (b) – representativa
- (c) – pouco representativa
- (d) – nenhuma

Como se pode depreender, os resultados obtidos sem a aplicação de microondas e os obtidos com a aplicação atendem os requisitos da norma ABNT NBR 13699.

Agora, fazendo um comparativo entre tais resultados, pode-se observar que no requisito relacionado com tempo de secagem no “*pick time*” da tinta, houve uma redução representativa no tempo de secagem com a umidade relativa de 90% que passou de 18 min para 15min30s, e para o tempo de secagem com a umidade relativa entre 50% e 60%, houve uma redução muito

significativa no tempo de secagem que passou de 8 min para 3min40s. Ressalta-se, ainda, o fato de que mesmo com essa redução obtida no tempo de secagem, nenhuma outra característica da tinta foi alterada de forma a reduzir a qualidade do produto.

Essa redução no tempo de secagem da tinta com a aplicação de microondas representa um ganho significativo quando da realização da sinalização em campo, pois como foi mencionado na introdução deste trabalho, o tempo necessário para a liberação da pista de rodagem, quando de um trabalho de sinalização, cria o problema associado ao custo da insatisfação do usuário decorrente da interrupção do fluxo viário normal.

Cabe observar que os tempos apontados nas tabelas de resultados estão em minutos, diferente da forma apontada nas demais tabelas em que se usou unidades do Sistema Internacional. Porém, todo o equacionamento desenvolvido levou em consideração essa conversão de unidades.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no estudo da influência da irradiação de microondas sobre o tempo de secagem e sobre a qualidade do filme seco de tinta acrílica à base de água para sinalização horizontal nos permitem concluir pela viabilidade técnica do processo ora apresentado, pois se consegue reduzir o tempo de secagem da tinta sem que haja dano à qualidade de seu filme.

Foi, também, obtida uma equação empírica para representar satisfatoriamente o fenômeno de secagem acelerada por microondas de tintas acrílicas à base de água:

$$y = 9,85 - 0,039z_1 - 19,16z_2 + 16,48z_2^2$$

onde:

y = tempo de secagem calculado

z₁ = potência específica(W/g)

z₂ = tempo de exposição à microondas (min)

Nota-se que na equação não participa o parâmetro velocidade do ar na cavidade, que de início pareceu ser importante.

A análise de significância dos parâmetros da regressão indicaram significativos apenas a potência específica de microondas e o tempo de irradiação.

7.1 Discussão sobre a viabilidade técnica

A sinalização horizontal relacionada à demarcação de uma via é normalmente composta de faixas denominadas de bordo e de eixo, conforme mostrado na Figura 46.

Para o cálculo da potência necessária para a aceleração do tempo de secagem, em campo, de uma tinta com as mesmas características da tinta objeto deste trabalho, vamos considerar a aplicação de uma faixa de bordo. As faixas de bordo, dependendo das características da via, podem ser executadas nos seguintes intervalos de dimensões (6):

- largura : de 0,1 m até 0,2 m
- espessura úmida: de 0,0003m até 0,0005 m

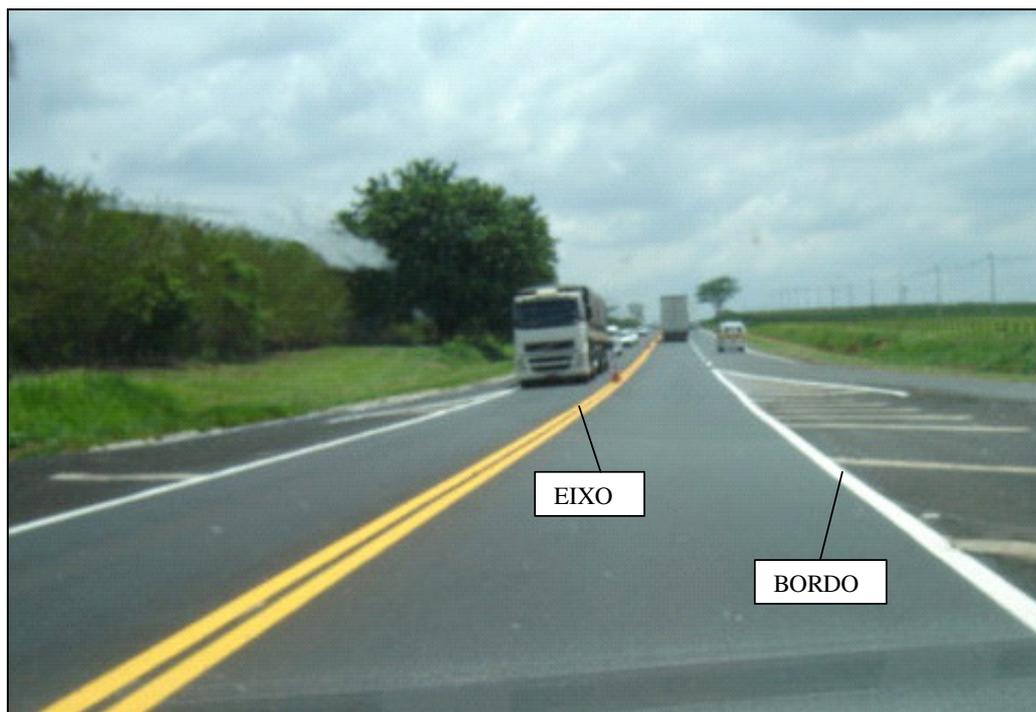


Figura 46 - Demarcação horizontal - eixo e bordo de pista
Fonte: (13)

Para os cálculos serão adotadas as dimensões de 0,2 m para a largura da faixa e de 0,0004 m para a espessura úmida.

Da Tabela 22, sabemos que a massa específica da tinta objeto do trabalho é de $1,8 \text{ g/cm}^3$.

Assim, nas condições adotadas de largura da faixa e de espessura úmida, para cada 1 m de faixa de bordo, serão aplicados 144 g de tinta.

Sabendo que os equipamentos utilizados na execução da sinalização horizontal trafegam a uma velocidade média de 4 km/h e, considerando, que a corneta para aplicação de microondas tenha comprimento útil de 1,2 m, o tempo de exposição da tinta à microondas, em uma sinalização no campo, será de 0,018 min.

Do ponto de vista prático da aplicação da tinta de sinalização, o tempo desejável para a secagem da amostra de tinta objeto deste trabalho seria de 3 min.

Com o tempo de secagem de 3 min e tempo de irradiação de 0,018 min, pela equação empírica obtemos a potência específica necessária:

$$y = 9,85 - 0,039z_1 + 19,16z_2 + 16,48z_2^2$$

onde:

$y = T_s =$ tempo de secagem esperado (3 min)

$z_1 = P_e =$ potência específica(W/g)

$z_2 = T_e =$ tempo de exposição à microondas (min)

Assim:

$$T_s = 9,85 - 0,039 * P_e - 19,16 * T_e + 16,48 * T_e^2$$

$$\therefore P_e = 167 \text{ W/g}$$

Como o filme a ser irradiado tem 144 g, então a potência a ser disponibilizada será de:

$$P = 24.048 \text{ W} = 24 \text{ kW}$$

Considerando que há geradores de microondas de 35 kW, pode-se dizer que tecnicamente é viável antecipar a liberação ao tráfego de um trecho de estrada, por aceleração da secagem da tinta de sinalização com microondas.

Uma restrição para o uso mais disseminado da técnica de processamentos com microondas era devida ao item de segurança dos operadores de equipamentos aplicadores de microondas, mas esse deixou de ser um problema, uma vez que já existem formas seguras de contenção das microondas nas cavidades de processamento (54) e dispositivos para a detecção de eventuais fugas com pronta atuação sobre o sistema gerador na ocorrência de algum problema.

7.2 Discussão relativa à viabilidade econômica

O valor de potência necessária para as condições estabelecidas é um valor bastante interessante por se tratar de uma potência que pode ser fornecida por geradores de microondas facilmente obtidos no mercado. Esse valor de potência viabiliza, do ponto de vista técnico, a aplicação de microondas em atividade de sinalização horizontal executada em campo.

Porém, até este ponto da avaliação pode ser verificado que a aplicação de microondas reduz significativamente o tempo de secagem da tinta que está associado ao conforto do usuário das vias e pode ser verificado, também, que para as condições de demarcação de um bordo em campo deverá ser utilizado um gerador de potência de 24 kW para a obtenção do resultado

esperado.

Contudo, é evidente que esse ganho com a redução do tempo de secagem da tinta precisa ser avaliado com relação ao aumento de custos gerado com a energia despendida com a aplicação de microondas.

Na Tabela 07 está apontado o custo de US\$ 9.3/m² quando da sinalização horizontal com tinta à base de água, considerando uma espessura úmida do filme de 0,5 mm.

Utilizando a cotação média do dólar do mês de dezembro de 2008 no valor de R\$ 2,39, o custo apontado será de R\$ 22,28/m² quando da sinalização horizontal com tinta à base de água, considerando uma espessura úmida do filme de 0,5 mm.

Considerando que a largura da faixa de bordo seja de 0,2 m e que a espessura úmida seja de 0,0004 m, para o volume de tinta obtido nas condições da Tabela 07 há a possibilidade de execução de 6,25 m de bordo.

Se os equipamentos aplicadores de tinta trafegam a velocidade de 4 km/h, em uma hora de trabalho será aplicado, nas condições apresentadas, o equivalente a 640 m² de tinta.

Como a potência necessária para a secagem do filme de tinta é de 24 kW, para a aplicação de 640 m² será aplicada a energia de 24 kWh.

Se considerarmos o custo da energia fornecida pela Eletropaulo no mês de dezembro de 2008, incluídos os impostos, de R\$ 0,36/kWh, haverá o aumento do custo de aproximadamente R\$ 0,014/m² de tinta aplicada, que representa acréscimo da ordem 0,06% em relação ao custo de R\$ 22,28/m² acima apontado.

Essa avaliação está considerando somente os custos envolvidos com relação à energia necessária para a aplicação de microondas com conseqüente redução do tempo de secagem da tinta. O custo da energia foi com base em tarifa praticada pela Eletropaulo.

Em primeira aproximação, pode-se dizer que o custo adicional devido ao tratamento por microondas é irrisório perante o benefício da liberação antecipada ao tráfego do trecho de estrada demarcado.

REFERÊNCIAS

- 1 BRANCO, A. M. **Segurança Rodoviária**, 1999.
- 2 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13699: Sinalização horizontal viária – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água – Requisitos e método de ensaio**, junho de 1996.
- 3 INDUTIL INDÚSTRIA DE TINTAS LTDA. Acervo.
- 4 CAMPOS, A. C. S. **A importância do fotoiniciador no sistema de formulação de tintas e vernizes curáveis por radiação UV**. – Anais do 7º Congresso Internacional de Tintas – ABRAFATI, 2001, páginas 415 a 428.
- 5 MOREIRA, H. A.; MENEGON, R. **Sinalização Horizontal**. São Paulo, 2003.
- 6 CALANI, D. (Consultor responsável). **Manual de Sinalização Rodoviária**. DNER, 1999.
- 7 MAIA DIGITAL. **Química (Tintas e Vernizes) – Caracterização do setor**. Disponível em <http://negocios.maiadigital.pt/hst/sector_actividade/quimica/>. Acesso em 07 de novembro de 2007.
- 8 ABRAFATI. **História das Tintas**. Disponível em <http://www.abrafati.com.br/bn_conteudo.asp?cod=92>. Acesso em 05 de novembro de 2007.
- 9 TECNOTINTAS. Disponível em <www.tecnotintas.com.br/imagens.htm>. Acesso em 19 de outubro de 2007.
- 10 FAZANO, C. A. T. **Tintas: Métodos de Controle de Pinturas e Superfícies**. 6ª edição, Hemus, 2002.
- 11 PREFEITURA MUNICIPAL DE COROMANDEL. Disponível em <http://www.coromandel.mg.gov.br/ver_noticias.php?id=118>. Acesso em 20 de novembro de 2007.
- 12 EPTC – PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. Disponível em <<http://www.eptc.com.br/noticias/imagens/Mvc-002f.jpg>>. Acesso em 20 de novembro de 2007.
- 13 INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA – Divisão de Ensaios e Análises do Centro de Pesquisas. Acervo.
- 14 FAZENDA, J. M. R. (Coordenador). **Tintas e Vernizes**, Ciências e Tecnologia, 2ª edição, Abrafati, 1995.
- 15 AMARILHA, V. L. M.; SILVA FILHO, J. L.; GIANNINI, R. **Substituição de resinas base solvente por resina base água** – Anais do 7º Congresso Internacional de Tintas – ABRAFATI, 2001, páginas 459 a 468.

- 16 PONZETTO, E.; ROSSETTI, R. A.; KUNIYOSHI, P.M. **Éteres butílicos derivados do óxido de eteno – sua versatilidade para o acompanhamento das novas tecnologias de tintas** – Anais do 6º Congresso Internacional de Tintas – ABRAFATI, 1999, páginas 647 a 660.
- 17 INDUTIL INDÚSTRIA DE TINTAS LTDA. Especificação Técnica de Produto.
- 18 MOREIRA, H. A. **PRO SINAL consagra a sinalização ecologicamente correta.** Sala de Imprensa. Disponível em <<http://www.indutil.com.br>>. Acesso em 25 de novembro de 2007.
- 19 ANATEL. **Campos eletromagnéticos & saúde pública: fornos de microondas.** Folha de Informação, 2005. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em 25 de novembro de 2007.
- 20 WHO. **Electromagnetic fields & public health: Microwave ovens.** World Health organization (WHO), 2005. Disponível em <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/en/>. Acesso em 25 de novembro de 2007.
- 21 MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. **Sinterização de cerâmicas em microondas. Parte I: Aspectos fundamentais.** Cerâmica, v. 53, p. 1-10, 2007.
- 22 SENISE, J. T. **Principais estudos sobre radiações não ionizantes, à luz das recomendações da Organização Mundial da Saúde.** Apostila, novembro de 2004.
- 23 SENISE, J. T. **Principais estudos sobre radiações não ionizantes, à luz das recomendações da Organização Mundial da Saúde.** IMT, palestra proferida em evento organizado pela Prefeitura de Belo Horizonte, 18 de novembro de 2004, p. 3.
- 24 LOUPY, A. Ed. **Microwaves in Organic Chemistry.** Germany, Wiley-VCH Verlag, 2003, Cap. 1.
- 25 FINI, A.; BRECCIA, A. **Chemistry by microwaves.** Pure Appl. Chem. 1999, 71 (4) 573-579.
- 26 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – Departamento de Geografia. Disponível em <www.geog.ufpr.br/disciplinas/Texto01_arquivos/image002.jpg>. Acesso em 12 de outubro de 2007.
- 27 SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X.; KIEMIE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** Trad. Alencastro, R. D. De, 5 ed., Brasil, Guanabara Koogan, 1991, cap. 3.
- 28 WHITTAKER, G. **Microwave heating mechanisms.** Disponível em <<http://homepages.ed.ac.uk/ah05/ch1a.html>>. Acesso em 25 de janeiro de 2008.
- 29 SENISE, J. T. **Utilização de rádio-frequência e microondas na eletrônica industrial.** Instituto Mauá de Tecnologia - Engenharia Química, 1984, p. 51-61.

- 30 MELGAARD, H. L. **Understanding Microwave Heating**. Process Heating. March 1997.
- 31 METAXAS, C.; MEREDITH, R. J. **Industrial microwave heating**. London: Peter Peregrinus, 1983. 357p.
- 32 SENISE, J. T.; JERMOLOVICIUS, L. A. **Microwave Chemistry – A fertile field for scientific research and industrial applications**. Journal of Microwaves and Optoelectronics, vol. 3 N. 05 julho 2004. Disponível em <www.jmo.ene.unb.br>. Acesso em 25 de janeiro de 2008.
- 33 BARBOZA, A. C. R. N.; CRUZ, C. V. M. S.; GRAZIANI, M. B.; LORENZETTI, M. C. F.; SABADINI, E. **Aquecimento em forno de microondas / Desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais**. Química Nova vol. 24 n. 6, São Paulo, nov./dec. 2001.
- 34 COBER. Disponível em <http://www.cober.com>. Acesso em 11 de novembro de 2007.
- 35 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 5829: Tintas, vernizes e derivados - Determinação da massa específica**, dezembro de 1984.
- 36 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 5830: Resinas e vernizes - Determinação de estabilidade acelerada**, 1976.
- 37 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 7135: Pigmentos - Grau de dispersão no veículo de uma tinta**, dezembro de 1981.
- 38 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 9676: Tintas - Determinação do poder de cobertura (opacidade)**, dezembro de 1986.
- 39 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12027: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da consistência pelo viscosímetro Stormer**, abril de 1992.
- 40 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12033: Tintas para sinalização horizontal - Determinação do tempo de secagem no-pick-up time**, abril de 1992.
- 41 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12034: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da resistência à abrasão**, abril de 1992.
- 42 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12035: Tintas para sinalização horizontal - Determinação do brilho**, abril de 1992.
- 43 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12036: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da flexibilidade**, abril de 1992.
- 44 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12038: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da resistência à água**, abril de 1992.
- 45 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12039: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da resistência ao calor**, abril de 1990.

- 46 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12040: Tintas para sinalização horizontal - Determinação da resistência ao intemperismo**, dezembro de 1990.
- 47 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 12934: Tintas para sinalização horizontal viária - Determinação da cor**, junho de 1993.
- 48 ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM D 2697-03: Standard Test Method for Volume Nonvolatile Matter in Clear or Pigmented Coatings**, 1998.
- 49 ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM D 2792-69: Standard Test Method for Solvent and Fuel Resistance of Traffic Paint**, 1998.
- 50 ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM D 3168-85: Standard Practice for Qualitative Identification of Polymers in Emulsion Paints**, 1999.
- 51 MONTGOMERY, D. L. **Design and analysis of experiments**. 5ª ed., USA, John Wesley, 2001, cap. 11.
- 52 Indutil Indústria de Tintas Ltda. Disponível em: <<http://www.indutil.com.br>>. Acesso em: 25 de maio de 2006.
- 53 Magalhães, R.S. et al. Artigo: **O uso de microondas para determinação de umidade de bauxita**, Revista Escola de Minas vol. 56 nº 4, outubro/dezembro de 2003.
- 54 Takara, J.A.; Nascimento, R. B.: **Selagem de trincas em asfalto com uso de resina epóxi e cura incentivada por microondas**, Instituto Mauá de Tecnologia, 2008

ANEXO A - BOLETIM TÉCNICO PARA O PRODUTO ACQUAPLAST

ACQUAPLAST

SV 101 – Branca SV 102- Amarela

Tinta acrílica à base de água, recomendada para pintura de rodovias com médio VDM e vias urbanas com baixo volume de tráfego. Suas principais características são: secagem rápida em temperaturas acima de 25°C, boa aderência em pavimentos asfálticos em bom estado, resistência à gasolina, ótima resistência à abrasão e boa retenção de cor. Essa tinta é fabricada com resina desenvolvida especialmente para pavimentos viários, não provocando danos aos mesmos. Utilizando água como diluente, não agride o meio ambiente. É uma tinta não inflamável de baixa toxicidade, que reduz riscos de acidente e garante melhores condições de segurança aos operadores que trabalham na sua aplicação. Esse produto possui altos sólidos em volume, acarretando uma espessura seca 30% maior na mesma espessura úmida, quando comparada às tintas convencionais para demarcação à base de solventes. Este material atende às especificações:

NBR 13699 – Sinalização Horizontal Viária – Tinta à base de resina acrílica emulsificada em água.

NBR 13731/96 – Aeroportos – Tintas à base de resina acrílica emulsificada em água.

RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO

TIPO DE PAVIMENTO: Betuminoso e de Concreto

MODO DE APLICAÇÃO: Máquinas apropriadas: em rodovias e vias urbanas.
Rolo ou trincha: em pequenos serviços.

VDM: Rodovias até 20.000
Vias Urbanas até 5.000

ESPESSURA ÚMIDA
RECOMENDADA: Rodovias 0,3 – 0,4 – 0,5mm
Vias urbanas 0,4 – 0,6mm
Aeroportos 0,3 – 0,4mm

RENDIMENTO: 0,3mm – 60m² por balde
0,4mm – 45m² por balde
0,5mm – 36m² por balde
0,6mm – 30m² por balde

DILUIÇÃO: Água com adição de até 3% em volume, quando necessário.

REFLETORIZAÇÃO: Pré-misturado – Adicionar de 200 a 250 gramas de microesferas de vidro do tipo IB (Premix), da NBR 6831 da ABNT, para cada litro.
Aspergida – Aspergir 250 gramas de microesferas

de vidro do tipo II (Drop-on), para cada m² aplicado.

HOMOGENEIZAÇÃO E REFLETORIZAÇÃO

INTERNA:

Antes de cada aplicação, misturar bem com pá ou remo de madeira para remover possíveis sedimentos.

Em seguida, transferir a tinta despejando em outro balde por 5 ou 6 vezes e nessa operação misturar aproximadamente 4 quilos de microesferas do tipo por balde, em partes.

ANEXO B - FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA O PRODUTO ACQUAPLAST

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Identificação do Produto

Nome Comercial:	Acquaplast
Cores:	Branco e Amarelo
Tipo de Produto:	Demarcação viária
Tipo de Recipiente:	Balde de 18 litros
Material do Recipiente:	Baldes plásticos
Estado Físico do Produto:	Líquido

Identificação da Empresa

Indutil Indústria de Tintas Ltda.
Rua Arinaia, 265 – Belenzinho
03171-040 – São Paulo – SP
Fone: 55 11-291.1266
Fax: 55 11-6693.1607
e-mail: indutil@indutil.com.br

2. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

Composição do Preparado

	Branco	Amarelo
Resina Acrílica	35	35
Aditivos	03	03
Água	05	05
Dolomita	46	54
Dióxido de Titânio	11	xx
Pigmento Orgânico Amarelo	xx	03

Natureza química: Não relevante

Ingredientes ou impurezas que contribuam para o perigo: Não aplicável

3. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

O manuseio do produto em seu estado líquido não requer precauções especiais, produto não inflamável, no entanto o uso de EPI's é recomendado. Os produtos da evaporação podem causar irritação aos olhos, garganta e as membranas mucosas do nariz.

Perigos mais importantes: Não relevante

Exposição Aguda: Provoca danos às mucosas, irritante a pele, olhos e trato respiratórios.

Exposição Crônica: Não determinada.

4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Inalação: Remova a vítima para local arejado.

Contato com a pele: Lave a área atingida com bastante água, havendo irritação consultar um médico.

Contato com os olhos: Lave com água por pelo menos 10 minutos, se a irritação persistir consultar um médico.

Ingestão: Faça a pessoa beber 2 copos de água. Nunca dê algo de beber a uma pessoa que esteja inconsciente.

Observação: Maiores informações consultar o item 8 desta FISPQ.

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Agentes extintores adequados: Pó químico, CO₂, em casos mais graves podem ser utilizadas espuma e água pulverizada.

6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Precauções pessoais: Remoção de fontes de ignição – Não aplicável

Controle de poeira e prevenção da inalação e do contato com a pele, mucosa e olhos – ver item 8.

Procedimento de recolhimento: Interromper o vazamento, se possível, e isolar a área. Recolher com material absorvente e eliminar.

Precauções ao meio ambiente: Cercar a área com barreiras de contenção para evitar o contato com rios e lagos.

Métodos para limpeza: Depositar em aterro sanitário licenciado para receber despejos industriais não perigosos.

7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Manuseio: Luvas protetoras e máscaras contra gases, óculos de segurança e botas.

Medidas técnicas: Não aplicável

Condições de armazenamento: Armazenar em local fresco e seco, livre do sol e em ambientes ventilados.

Produtos e materiais incompatíveis: Não relevante

Materiais seguros para embalagens: Embalagens plásticas

8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Proteção respiratória: Máscara contra gases

Proteção dos olhos: Óculos de segurança com protetor lateral

Proteção para as mãos: Luvas de proteção

Proteção para os pés: Botas de segurança

9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Estado físico: Líquido

Cor: Branco / Amarelo

Odor: Aroma característico de amônia

pH: 9 - 10

Ponto de fulgor: Não aplicável

Limite de explosividade superior / inferior: Não aplicável

Densidade: 1,59 mínimo

Solubilidade: Água

10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Instabilidade: Não aplicável

Reações perigosas: Não aplicável

Estabilidade: Produto estável em condições normais de estocagem.

Incompatibilidade: Hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos.

Produtos perigosos da decomposição: Podem liberar monômeros e outros compostos orgânicos não identificados.

11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade aguda: Não determinado

Efeitos locais: Em contato com a pele pode causar sensibilização.

12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto: Não relevante

13. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Disponível em aterro sanitário licenciado para receber despejos industriais não perigosos de acordo com as regras locais, municipais, estaduais e federais.

14. INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

Regulamentações nacionais e internacionais: Não aplicável

15. REGULAMENTAÇÕES

Não aplicável.

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

A Indutil Indústria de Tintas Ltda., acredita que as informações aqui contidas correspondem ao estado atual dos seus conhecimentos a respeito do produto. Entretanto nenhuma garantia de forma explícita ou implícita é dada quanto à exatidão, confiabilidade ou integridade de tais informações.

A Indutil solicita às pessoas e/ou empresas que receberem estas informações a fazer suas próprias determinações quanto às adequações e integridade destas informações para sua própria utilização.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)