



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS INDUSTRIAIS:  
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE QUÍMICA NO TREINAMENTO DE  
EQUIPES DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL DO SETOR ELÉTRICO.**

Rio de Janeiro, 2017.

Joyce Braga Camargo

*Compatibilidade entre tintas industriais: Uma proposta para o ensino de química no treinamento de equipes de manutenção industrial no setor elétrico*

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química pelo Instituto de Química do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientadora:  
D.Sc Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva (IQ/UFRJ).

Coorientador:  
D.Sc Alberto Pires Ordine (Cepel).

Cidade Universitária, Rio de Janeiro.

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Licenciando:**

**TÍTULO DA MONOGRAFIA:**

**COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS INDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA PARA O  
ENSINO DE QUÍMICA NO TREINAMENTO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO  
INDUSTRIAL DO SETOR ELÉTRICO.**

**Orientadores:**

---

**Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva – DQI –IQ/UFRJ**

---

**Alberto Pires Ordine – Cepel**

**Banca Examinadora:**

---

**Elber Vidigal Bendinelli - Cepel**

---

**Roberto Salgado Amado - DQI - IQ/UFRJ**

---

**Vanessa Vasconcelos Torres - IFRJ - *Campus* Duque de Caxias**

**Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que é o nosso Criador e Senhor que nos dá a vida e a força diária para que possamos, com a luta de nossos esforços, conseguir o nosso próprio sustento através de muito trabalho. E com dedicação, disciplina, amor e com o dom supremo da Ciência almejamos prover à sociedade frutos de nossa inteligência e sabedoria em forma de benefício à nossa humanidade, respeitando à natureza e a todas as criaturas.

Dedico também este trabalho à minha família, em especial:

Aos meus pais: Rita de Cássia Braga e José Camargo, deles pude receber uma formação sólida regada de dedicação e amor para ser quem sou hoje, uma cidadã do bem;

Ao meu amado marido: Gilmar de quem sempre recebo seu amor e cuidado, além do incentivo diário para lutarmos pelos nossos sonhos e nossa felicidade;

Aos meus irmãos Rafael e Jéssica, aos que admiro e sempre recebo seu apoio e amor fraterno.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, Nele me fortaleço diariamente em minha jornada profissional e acadêmica. Agradeço aos meus familiares, amigos que me apoiaram e incentivaram, e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos de dificuldades e de vitórias.

Ao CEPEL e a UFRJ, em especial aos meus orientadores Fernanda Arruda e o Alberto Ordine, pela amizade e incentivo recebido como meus orientadores durante o meu estágio profissional em química no Cepel, agradeço por terem contribuído para o meu amadurecimento profissional e acadêmico. Agradeço à equipe do laboratório de corrosão, pela amizade, companheirismo e contribuição recebida, em especial aos pesquisadores Cristina Amorim, pelo incentivo recebido, e Elber Vidigal, quem me motivou a desenvolver este estudo, bem como ao técnico em química Marcos Sá por toda sua contribuição. Agradeço também ao apoio recebido pelo laboratório de química do Cepel.

## RESUMO

Neste trabalho, foi elaborada uma aula experimental sobre compatibilidade entre tintas anticorrosivas, para a proteção de estruturas metálicas e equipamentos utilizados no setor elétrico, com o objetivo de auxiliar o treinamento de profissionais de nível médio técnico e de nível superior, envolvidos em serviços de manutenção. A aula foi ministrada no curso de Fundamentos de Inspeção de Pintura Anticorrosiva, oferecido pelo laboratório de corrosão do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel). A aula iniciou-se com a abordagem de conceitos de química necessários para a realização dos experimentos, após esta etapa a metodologia experimental foi detalhada para os alunos. Para tanto, apresentou-se um procedimento experimental e um fluxograma com a rota analítica proposta, os alunos receberam amostras de esquema de pintura envelhecido para ter sua tinta de acabamento identificada. O substrato era de aço carbono e as tintas de acabamento dos esquemas foram: alquídica, epóxi, poliuretano, acrílica e borracha clorada. Posteriormente, analisou-se o aprendizado da turma, por meio de um questionário relacionado à aula prática e uma prova de conhecimentos teóricos em fundamentos de inspeção de pintura. Verificou-se que os alunos apresentaram um melhor rendimento, comparado a uma turma que também participou do curso oferecido pelo Cepel, mas que não teve a aplicação da aula experimental em estudo. A aula atendeu às expectativas dos profissionais, os mesmos conseguiram identificar as amostras de tintas corretamente durante os ensaios realizados e 86% conseguiu associar a prática ao seu cotidiano e 93% informou que os conhecimentos adquiridos serão úteis às suas atividades de campo. Adicionalmente, a fim de avaliar o ensino do assunto para um perfil diferente de alunos, a aula foi ministrada de maneira demonstrativa para uma turma de engenharia da UFRJ, na disciplina de Química Geral Experimental, e 95% dos alunos associaram a aula experimental com seu cotidiano 95%, alcançando a contextualização no ensino de química. Utilizou-se como proposta pedagógica o CTS, direcionando o ensino de química, para capacitar os alunos na aplicação do conhecimento científico com uma visão crítica e responsável em seu cotidiano.

Palavras-chaves: Corrosão, Treinamento de Profissionais, Setor Elétrico, Tintas Anticorrosivas, Ensino de Química.

## LISTA DE FIGURAS

Número	Nome	Página
3.1	Fatores de ocorrência característicos para corrosão de acordo com sua natureza, corrosão eletroquímica e corrosão química.	26
3.2	Propriedades da pintura como técnica de proteção anticorrosiva.	27
3.3	Descrição do esquema de pintura.	29
3.4	Representação esquemática de tintas que, normalmente, compõem o esquema de pintura.	30
3.5	Em (A) Representação da estrutura final da borracha clorada, com hidrocarbonetos clorados de cadeia acíclica e, em (B), Representação estrutura final da borracha clorada, com hidrocarbonetos clorados de cadeia cíclica.	33
3.6	Representação da estrutura dos monômeros constituintes dos polímeros poliacrilato e polimetacrilato.	34
3.7	Principais matérias-primas utilizadas para a obtenção da resina epóxi: epicloridrina e o difenilolprapano (bisfenol-A).	36
3.8	Processo de cura da resina epoxídica.	36
3.9	Representação da reação de compostos poliidroxilados (polióis) com poliisocianatos para obtenção do polímero poliuretano.	37
3.10	Exemplos de defeitos de pintura: (A) Enrugamento, (B) Sangramento, (C) Esfoliação e (D) Fissuras ou fendimento.	40
4.1	Fluxograma dos ensaios de compatibilidade.	42
4.2	Turmas avaliadas.	44

4.3	Avaliações utilizadas para análise das turmas trabalhadas.	45
4.4	Gráfico percentual de distribuição do assunto abordado na prova.	47
4.5	Sequência dos procedimentos para o teste de chama, em (A) Aquecimento do fio de cobre ao rubro e identificação se o fio encontra-se limpo ao ver que não houve alteração na cor da chama e, em (B), Encosta-se o fio de cobre aquecido ao rubro à película de tinta de acabamento durante uns 5 segundos.	49
4.6	Procedimentos experimentais para ensaio com $H_2SO_4$ concentrado. Em (A), Raspas de tinta epóxi alcatrão de hulha e, em (B), Gotas de $H_2SO_4$ sobre as raspas de tinta.	50
4.7	Materiais e reagentes utilizados no teste de resistência química ao meio alcalino.	51
4.8	Em (A), Chumaço de algodão sendo embebido em solução de NaOH 10% (v/v), e, em (B), Chumaço de algodão embebido em solução alcalina em contato com a superfície da tinta de acabamento	52
4.9	Em (A), Raspagem da superfície de tinta no esquema de pintura e, em (B), Ensaio de pirólise (Realizado na capela)	53
5.1	Resultados para os testes de solubilidade para as amostras analisadas. Positivos para as amostras de borracha clorada (A) e acrílica (B). Em (C) e (D) negativo para epóxi e negativos para as tintas alquídica (E) e poliuretano (F).	56
5.2	Teste de chama positivo, com coloração verde da chama ( $Cu^{2+}$ ).	57
5.3	Resultado positivo para o ensaio com $H_2SO_4$	58

	concentrado. Em (A), para tinta epóxi com alcatrão de hulha e, em (B), para tinta epóxi isenta de alcatrão de hulha.	
5.4	Resultado negativo para o ensaio com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado. Em (A), tinta acrílica, em (B) tinta de poliuretano, em (C) tinta alquídica.	59
5.5	Resultado para o ensaio de resistência química ao NaOH. Em (A), positivo para tinta alquídica, e, em (B), negativo para tinta de poliuretano.	60
5.6	Resultado para teste de pirólise para identificação das tintas alquídica (A) e poliuretano (B).	61
5.7	Resultado do ensaio com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado no vidro de relógio para as tintas de acabamento epóxi, alquídica e poliuretano.	62
5.8	Ensaio complementares para testar películas de tinta com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado. Em (A) tinta de fundo para esquema com borracha clorada para tinta de acabamento. Em (B) teste falso positivo com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado.	63
5.9	Ensaio complementares com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado para testar influência da tinta de fundo na identificação da tinta de acabamento acrílica. Em (A) resultado errado e positivo para uma raspagem não efetiva. Em (B) resultado certo e negativo para tinta acrílica quando a raspagem foi efetiva.	63
5.10	Ensaio complementares para testar películas de tinta com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado. Em (A) tinta de fundo para esquema com borracha clorada para a tinta de acabamento. Em (B) teste falso positivo com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado.	64
5.11	Teste de solubilidade para tinta epóxi alcatrão de hulha e identificação de gizamento em sua superfície.	65

Em (A), resultado falso, positivo, de solubilidade aos solventes MEC e tolueno. Em (B), confirmação da presença de gizamento da tinta, usando água destilada.

5.12	Espectros vibracionais no infravermelho das amostras de tintas analisadas e utilizadas nos testes das aulas experimentais.	66
5.13	Exemplo de algumas regiões de um espectro de IV características de certo tipo de ligações.	68
5.14	Registros da aula experimental aplicada à turma de abril de 2016 do curso oferecido pelo laboratório de corrosão do Cepel. (A) Aula teórica; (B)	69
5.15	Gráfico do percentual de alunos versus a faixa de notas dos alunos após a prova (turma do curso de abril de 2016).	72
5.16	Gráfico do percentual de alunos versus a faixa de notas dos alunos após a prova (turma do curso de junho de 2016).	73
5.17	Gráfico do percentual de alunos <i>versus</i> a faixa de notas dos alunos após a prova aplicada as turmas de abril de 2016, com aula experimental, e de junho de 2016, sem aula experimental.	74
5.18	Gráfico do percentual da média de acertos da turma versus assunto pós a prova aplicada as turmas de abril de 2016, com aula experimental, e junho de 2016, sem aula experimental.	75

## LISTA DE TABELAS

Número	Nome	Página
3.1	Proposta curricular para o ensino de Química para turmas da 3ª Série do Ensino Médio, segundo a Proposta Curricular do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro, de fevereiro de 2010.	22
3.2	Tabela de exemplos de metais e sua resistência à corrosão	26
3.3	Compatibilidade entre tintas para especificação de pintura.	32
4.1	Amostras de tintas utilizadas nos ensaios e suas respectivas identificações	41
4.2	Assuntos abordados, codificação e números de questões da prova aplicada.	46
5.1	Resultado dos ensaios de identificação da tinta de acabamento.	71
5.2	Comparação entre as notas finais e parâmetros estatísticos das turmas de abril e junho.	73
5.3	Dados obtidos por meio do Questionário (Apêndice 2) aplicado à turma de abril de 2016.	76
5.4	Dados obtidos por meio do Questionário (Apêndice 3) aplicado a turma de graduação da UFRJ na disciplina de Química Geral Experimental.	78
5.5	Comparação da avaliação do objetivo da aula experimental entre as duas turmas abril de 2016 (curso Cepel) e dezembro de 2016 (UFRJ).	79

## LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Nome
ASTM	American Society for Testing and Materials
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
EUA	Estados Unidos da América
Fe(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido ferroso
Furnas	Furnas Centrais Elétricas S.A
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
HCl	Cloreto de hidrogênio
HF	Fluoreto de hidrogênio
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
MEC	Metiletilcetona
NaOH	Hidróxido de sódio
NIST	National Institute of Standards and Technology
Nox	Número de Oxidação
TDI	2,6-tolueno diisocianato
UVA	Radiação ultravioleta A
UVB	Radiação ultravioleta B

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABELAS.....	11
<b>1</b> <b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b> <b>OBJETIVO</b> .....	17
<b>3</b> <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
3.1     REFERENCIAL PEDAGÓGICO .....	17
3.2     CONCEITOS QUÍMICOS DE CORROSÃO.....	19
<b>3.2.1</b> <b>Reações de oxirredução e corrosão</b> .....	23
<b>3.2.2</b> <b>Corrosão com enfoque pedagógico</b> .....	24
3.3     ESQUEMAS DE PINTURA PARA SUPERFÍCIES METÁLICAS.....	27
3.4     CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE TINTAS.....	31
3.5     PRINCIPAIS TINTAS DE ACABAMENTO .....	32
<b>3.6.1</b> <b>Borracha clorada</b> .....	32
<b>3.6.2</b> <b>Acrílica</b> .....	34
<b>3.6.3</b> <b>Epóxi</b> .....	35
<b>3.6.4</b> <b>Resinas poliuretânicas</b> .....	37
<b>3.6.5</b> <b>Alquídica</b> .....	38
3.6     DEFEITOS PROVOCADOS POR INCOMPATIBILIDADE DE TINTAS .....	39
<b>4</b> <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
4.1     ELABORAÇÃO DA AULA EXPERIMENTAL .....	40
4.2     TURMAS AVALIADAS.....	43
4.3     QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS.....	45
4.4     TESTES DE COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS ANTICORROSIVAS (NM-MN-SMN-003): IDENTIFICAÇÃO DE TINTAS DE ACABAMENTO .....	47
4.4.1    Teste de solubilidade. ....	47
4.4.2    Teste de chama (teste de beilstein) .....	48
4.4.3    Teste com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado .....	50

4.4.4	Ensaio de diferenciação entre as tintas alquídicas e poliuretano .....	51
4.4.4.1	Teste de pirólise .....	52
4.4.5	Testes complementares.....	54
4.4.6	Espectroscopia no infravermelho .....	54
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
5.1	RESULTADOS DOS TESTES DE COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS ANTICORROSIVAS (NM-MN-SMN-003): IDENTIFICAÇÃO DE TINTAS DE ACABAMENTO.....	55
5.1.1	Teste de solubilidade.....	56
5.1.2	Teste de chama (teste de Beilstein).....	57
5.1.3	Teste com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado .....	58
5.1.4	Ensaio de diferenciação das tintas alquídicas e poliuretano .....	59
5.1.5	Testes complementares.....	61
5.1.6	Espectroscopia no infravermelho .....	65
5.2	AULA EXPERIMENTAL .....	69
5.3	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS APÓS A AULA EXPERIMENTAL....	72
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIA .....</b>	<b>83</b>
	APÊNDICE 1 .....	87
	APÊNDICE 2 .....	93
	APÊNDICE 3.....	95

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, não existem dados precisos para estimar os custos diretos e indiretos gerados por processos corrosivos, em diversos setores da economia. Em relação ao setor elétrico, nos Estados Unidos da América (EUA), este levantamento já foi realizado pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*), comparando-se à capacidade instalada entre o Brasil e os EUA, é possível fazer uma estimativa sobre o custo da corrosão no setor elétrico brasileiro, com base no estudo realizado pelo EPRI entre 1999 e 2001. Assim, pode-se dizer que, anualmente, no Brasil o custo da corrosão no setor elétrico é estimado em US\$1 bilhão, e poderia ser reduzido à US\$ 200 milhões por ano, com aplicação de técnicas de combate à corrosão (SERRA, 2006).

Abordar o tema corrosão no ensino de ciências e suas tecnologias possibilita contextualizá-lo, ao relatar a interferência econômica, social e ambiental que a ocorrência da corrosão traz a diversos segmentos industriais, bem como à própria sociedade. Nesta visão, pode-se fazer uma discussão em sala de aula, com um olhar voltado ao cotidiano, aplicando assim um dos conceitos da proposta pedagógica Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Ao abordar o tema corrosão no ensino de química, principalmente para a formação de profissionais, mesmo que não sejam da área da química, é importante ter em mente que umas das principais técnicas de proteção de metais contra corrosão é a aplicação de revestimentos orgânicos por pintura. Bem como é indispensável conscientizar que durante o desenvolvimento de um projeto de inspeção de pintura, devem-se considerar diversos fatores, desde a escolha correta do revestimento, até a estimativa dos impactos ambientais envolvidos, assim como a influência das etapas que constituem um esquema de pintura, como a exigência do preparo adequado da superfície metálica antes de receber a pintura para garantir a aderência do revestimento ao substrato e a ausência de contaminantes. E quando se trata de uma manutenção de pintura antiga, caso seja utilizada uma tinta incompatível à tinta existente, a proteção anticorrosiva pode ser comprometida, acelerando a corrosão do substrato metálico (GENTIL, 2003). Por isso a importância das equipes de manutenção industrial serem compostas por profissionais especializados e que recebam capacitação

periodicamente, a fim de que eles estejam aptos para executar tarefas que envolvam inspeção de pintura (NUNES, LOBO, 1990).

Levou-se em consideração, na escolha do tema “compatibilidade entre tintas”, a contextualização no ensino de química, tanto no ensino médio técnico como no ensino superior. Acredita-se que o assunto “tintas” faça parte do cotidiano da população de maneira direta ou não, visto que o consumo brasileiro de tintas representa cerca de 4,7% do consumo mundial, e em relação a produção de tintas no Brasil 76% é voltado para a linha imobiliária e 15% para o setor industrial (RIGOLETTO, 2010). Ao se tratar do setor elétrico, o trabalho de campo é uma realidade das empresas deste ramo e tanto profissionais de nível médio técnico quanto de nível superior que não possuem necessariamente uma formação na área de química estão envolvidos na manutenção dos equipamentos elétricos e de estruturas metálicas que muitas vezes, apresentam processo corrosivo avançado (CENTRO DE PESQUISAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Para uma pintura de manutenção é de suma importância conhecer o tipo de tinta existente na pintura antiga sobre a qual a nova tinta será aplicada. Porém em muitas situações em que não há um histórico de pintura, a identificação das películas de tintas de acabamento pode ser feita em laboratório por meio de técnicas de análise orgânica como, por exemplo, a de espectroscopia de absorção no infravermelho (FRAGATA, et. al. 2014). Durante o desenvolvimento deste trabalho, atentou-se na aplicação do CTS durante o treinamento de profissionais, visando explorar a realidade profissional em que eles vivem. Visando capacitar equipes de manutenção da Eletrobrás que atuam ou poderão atuar em trabalho de campo no setor elétrico, elaborou-se, neste trabalho de conclusão de curso de licenciatura em química, a aula experimental de compatibilidade entre tintas de acabamento para treinar esses profissionais de nível médio ou nível superior, que não são da área química, a executarem a identificação das principais tintas industriais, pelas suas propriedades físico-químicas, através de ensaios práticos aplicados na película de tinta e que podem ser aplicados em campo. Desta forma esses profissionais poderão realizar de maneira otimizada a correta escolha da tinta anticorrosiva na recuperação de uma pintura antiga, atendendo a compatibilidade entre as tintas definida pela Norma Eletrobras NE005.

## **2 OBJETIVO**

O propósito deste trabalho consistiu na elaboração de uma aula experimental de compatibilidade entre tintas anticorrosivas, para o treinamento de profissionais do setor elétrico. Teve por objetivo capacitar equipes de manutenção industriais, a recuperarem um esquema de pintura antigo, aplicando técnicas de identificação de tintas industriais por ensaios químicos, que poderão ser usados em seus futuros trabalhos em campo.

Este trabalho também teve por objetivo aplicar a aula experimental de compatibilidade entre tintas, para um segundo público de alunos, do curso de engenharia civil, elétrica e naval e oceânica, da UFRJ. A fim de avaliar se os alunos conseguiam prever que o tema abordado na aula experimental pode estar presente em sua futura atuação profissional.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 REFERENCIAL PEDAGÓGICO**

A química está presente no cotidiano das pessoas e, atualmente, de forma mais acentuada, como se observa o avanço de invenções científico-tecnológicas, as quais estão intimamente relacionadas com processos de natureza química. Desde os primórdios, a química pode ser identificada como parte de nossas rotinas, seja na formulação de pigmentos usados nas paredes das cavernas, seja na produção de cerâmicas ou de artefatos bélicos como pólvoras dos armamentos em guerras (GOMES *et.al.*, 2007).

Ao se tratar do ensino de química, apesar das instituições de ensino terem como uma de suas funções a formação de cidadãos (VIEIRA; BAZZO, 2007), deve-se levar em consideração que a instituição educacional, também, foi desenvolvida para preparar indivíduos a viver de acordo com as regras da sociedade. (RIBEIRO, 2002). Neste contexto, o ensino pode se transformar numa forma de educar para a obediência e causar passividade e, conseqüentemente, uma imobilidade (SILVA, 2002). Diante desta visão, sabemos que não cabe à educação a resolução de todos os problemas sociais, porém é relevante reconhecer sua contribuição na formação de indivíduos críticos, e que de maneira participativa possam atuar para a evolução da sociedade (CONRADO; EL-HANI, 2010).

A responsabilidade da educação para a cidadania é formar cidadãos, a fim de participarem das decisões políticas, capacitando a população para atuar coletivamente, com acesso igualitário e autêntico aos conhecimentos, de maneira contínua, autônoma e crítica. Com fundamentos em conceitos básicos, permitindo a compreensão e a atuação sobre os problemas sociais (ZANCAN, 2000).

Ser cidadão pressupõe não apenas a posse de direitos e deveres em uma sociedade, mas também o exercício consciente da democracia, cultivando o compromisso de exercer ações sociais responsáveis, conscientizando-se da responsabilidade de suas ações sobre as questões socioambientais (SANTOS; MORTIMER, 2001).

O Movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), conforme dissertam Santos e Schnetzler (1997), teve sua origem por volta da década de 1970, proveniente de um conjunto de reflexões sobre o impacto da ciência e da tecnologia na sociedade moderna.

Segundo Auler e Bazzo (2001), os problemas ambientais avançaram junto com o desenvolvimento científico e tecnológico, que ocorreram com as guerras, dando um parecer que relacionava as guerras aos resultados do desenvolvimento da ciência. Essa associação, permitiu uma análise crítica de alguns setores da sociedade sobre a ciência e a tecnologia, verificando que o modelo linear/tradicional de progresso científico não correspondia, necessariamente, a uma interpretação correta de como o desenvolvimento da ciência se processa, interferindo no desenvolvimento da própria sociedade (LUJÁN *et. al.*, 1996).

O movimento CTS tem gerado uma renovação dos conceitos para o ensino de ciências, visto que está inserido nas áreas de ensino e de pesquisa didática, associadas às disciplinas científicas. A partir desta inserção, tem-se procurado transformar uma educação em ciências numa educação pelas ciências (SANTOS, 1999).

No ensino de química é importante incluir temas sociais, econômicos e ambientais, visto que estes são uma ação fundamental para um ensino comprometido com a cidadania. Temas como: metais, metalurgia e galvanoplastia foram considerados como relevantes, numa pesquisa realizada com educadores químicos brasileiros (SANTOS e SCHNETZLER, 2000 *apud* MERÇON, 2011).

Nesta realidade, deve-se considerar a abordagem da importância econômica da corrosão, a fim de destacar a importância das boas práticas de combate à mesma. Segundo Serra (2006), a corrosão ocupa uma posição de destaque, em termos econômicos, visto que nos EUA, o primeiro levantamento econômico da corrosão realizado em 1965 estimava o seu custo anual em 10 milhões de dólares, e o realizado em 2002 estimou que este valor atingiu 275 bilhões de dólares, equivalendo a 3,6% do PIB, de acordo o instituto americano NIST, *National Institute of Standards and Technology*.

No âmbito de situar o ensino de ciências às necessidades de inovação científico-tecnológica da sociedade, é importante direcionar a motivação do desenvolvimento das competências dos alunos à resolução de problemas sociais e ambientais, como cidadãos e futuros profissionais.

De acordo com a problemática apresentada, deseja-se fazer o uso da abordagem CTS para um treinamento efetivo de profissionais do setor elétrico, em particular, no contexto do ensino de boas práticas de combate à corrosão, que poderão ser aplicadas em sua rotina profissional. Em outras palavras, sinalizando a importância de impulsionar experiências e investigações, e aplicar os fundamentos CTS no ensino de ciências no treinamento de profissionais.

Assim, os profissionais podem ser orientados a serem mais críticos aos problemas existentes em campo, relacionados à inspeção de pintura anticorrosiva. Eles estarão mais preparados para enfrentar e resolver os problemas propostos em seu cotidiano, e o ensino, em todos os níveis, tem a sua contribuição efetiva para isto (NASCIMENTO; LINSINGEN, 2006).

Inicialmente, é necessário, preparar o indivíduo para refletir a respeito do problema encontrado, e não apenas aceitar as situações e os fatos que ocorrem em sua volta, discutindo seus diferentes pontos de vista e interesses. Ele será capaz de participar ativamente na resolução de problemas que surgirem em seu cotidiano, envolvendo-se com empatia, respeito e compromisso em suas atividades (GORDILLO, 2006).

### 3.2 CONCEITOS QUÍMICOS DE CORROSÃO

Diante de sua importância, o tema corrosão de materiais metálicos, possibilita ao educador fazer a abordagem de conteúdos diversos de química como, por exemplo, reações químicas de oxirredução, cinética química, equilíbrio químico e eletroquímico (MERÇON et al., 2011).

Segundo a Proposta Curricular do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro, de fevereiro de 2010, o currículo de química para a 3ª Série do Ensino Médio engloba no segundo bimestre o conteúdo de eletroquímica, conforme descrito na Tabela 3.1. (MEC, 2006). Nesta abordagem relaciona-se a energia elétrica envolvida numa transformação química, a formação de pilhas e de baterias, reconhecendo o agente redutor e o oxidante em uma reação de oxirredução, bem como, a compreensão do fenômeno de corrosão e de série galvânica, a partir da maior ou da menor tendência a perder elétrons.

Tabela 3.1- Proposta curricular para o ensino de Química para turmas da 3ª Série do Ensino Médio, segundo a Proposta Curricular do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro, de fevereiro de 2010. (MEC, 2006)

QUÍMICA – 3ª SÉRIE/ENSINO MÉDIO (RJ)
Competências e Habilidades: Energia e suas transformações
1º Bimestre – Termoquímica
Compreender a entalpia de uma reação como resultante do balanço energético entre ruptura e formação de ligações.
Identificar fenômenos em que ocorram trocas de calor, classificando-os em endotérmicos e exotérmicos.
Prever a entalpia de uma reação química a partir de informações obtidas de gráficos e tabelas.
Relacionar a energia térmica envolvida numa reação com quantidade de matéria
Diferenciar combustão completa e incompleta.
Avaliar a eficiência e as implicações ambientais de diferentes combustíveis utilizados na produção de energia térmica.
2º Bimestre – Eletroquímica
Relacionar a energia elétrica envolvida numa transformação química e compreender a formação de pilhas e baterias.
Reconhecer o agente redutor e oxidante em uma reação de oxirredução.
Compreender o fenômeno de corrosão e de proteção à corrosão a partir da maior ou menor tendência de perder elétrons.
Prever a espontaneidade ou não de uma reação de óxido-redução a partir de uma série de reatividade apresentada.
Compreender a eletrólise, as leis de Faraday e suas aplicações.
Reconhecer os aspectos ambientais envolvidos no descarte de pilhas e baterias utilizadas em equipamentos eletrônicos.

### 3º Bimestre - Cinética Química

Observar e identificar transformações químicas que ocorrem em diferentes escalas de tempo.

Compreender as condições que interferem na velocidade das reações.

Reconhecer e controlar variáveis que podem modificar a rapidez de uma transformação química (ex: concentração de reagentes, temperatura, pressão, estado de agregação e catalisador).

Interpretar os processos usados na conservação de alimentos como ações que visam interferir nas condições necessárias para que ocorra uma reação química.

### 4º Bimestre – Equilíbrio Químico

Reconhecer a coexistência de reagentes e produtos (equilíbrio dinâmico) em certas reações químicas.

Identificar o estado de equilíbrio, por meio de análise de gráficos de concentração de reagentes e produtos em função do tempo.

Identificar os fatores que perturbam o equilíbrio de uma reação, tais como a concentração das substâncias envolvidas, a temperatura e a pressão (Princípio de Le Chatelier).

Compreender o equilíbrio iônico da água.

Conceituar caráter ácido e caráter básico de uma solução, através da escala de pH.

Como proposta de abordar o tema corrosão para uma turma de nível médio, deve-se atentar em aproximar o tema ao cotidiano dos alunos, e torná-lo contextualizado ao ensino de química. Um dos exemplos que pode ser citados é a ocorrência da corrosão no ambiente doméstico, visto que a corrosão é responsável pela deterioração de utensílios, eletrodomésticos, portas, janelas e diversos materiais metálicos existente nas residências em geral.

Levando em consideração os conceitos abordados pelo CTS, o tema corrosão no ensino de química propicia relacionar os conteúdos científicos envolvidos com os aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, favorecendo a formação da cidadania dos alunos e ampliando seu poder de participação e tomada de decisão. Desenvolvendo no aluno habilidades básicas para a sua participação na sociedade democrática (MERÇON et. al., 2011).

### 3.2.1 Reações de oxirredução e corrosão

Segundo Gentil (2003), as reações de oxidação e de redução são reações onde há a variação do número de oxidação (Nox), por meio da perda e do ganho de elétrons, respectivamente. Como exemplo (Equação 3.1) pode-se citar a oxidação do ferro ao ser exposto ao meio ácido (solução de HCl). Neste caso, também, há a redução do íon  $H^+$ .



As reações parciais de oxidação e de redução podem ser observadas por meio das Equações 3.2 e 3.3, respectivamente:



Ao realizar a soma das duas semi-reações (Equações 3.2 e 3.3) a equação global do processo corrosivo é obtida, como descrito na Equação 3.4.



Numa reação de eletroquímica o elemento oxidado, (neste caso o Fe) perde elétrons, é o agente redutor. Já o elemento que é reduzido (neste caso o H<sup>+</sup>), ganha elétrons, é o agente oxidante. Como este processo de oxirredução é espontâneo, deve-se equilibrar as semirreações de forma que a equação global não apresente os elétrons envolvidos nas reações de oxidação e de redução.

Apesar da variedade de materiais existentes no mundo contemporâneo, o aço continua sendo o mais empregado na maioria dos segmentos de bens de produção. Denomina-se aço, as ligas de ferro (Fe) e de carbono (C), sendo o mais comum o aço-carbono, e o aço inoxidável que, além desses elementos, contém cromo (Cr) e, em alguns casos, níquel (Ni) (MERÇON *et. al.*, 2011).

O aço-carbono é o material mais utilizado em instalações industriais por sua menor relação custo/resistência mecânica e a facilidade de solda e conformação, apesar de ser mais suscetível à corrosão (TELLES, 2000).

Pode-se representar a corrosão do aço por um mecanismo, composto por reações que dependem das características do meio. Em meio neutro ou levemente básico, por exemplo, tem-se a oxidação do Fe (Equação 3.5) e a redução do oxigênio dissolvido em água (Equação 3.6). Os íons Fe<sup>2+</sup> e OH<sup>-</sup> reagem formando o hidróxido ferroso, Fe(OH)<sub>2</sub>, (Equação 3.7).



### 3.2.2 Corrosão com enfoque pedagógico

Como estratégia de abordar o tema corrosão no ensino médio, há diversas propostas de aulas experimentais em química, como por exemplo, a criação de pilhas eletroquímicas, utilizando materiais alternativos, como laranja, batata, dentre outros. Esses experimentos têm como principal objetivo o intuito de demonstrar ao

aluno a possibilidade de adaptação de materiais às necessidades do momento, na construção de pilhas, além de evidenciar a reutilização de pilhas usadas com aproveitamento da carcaça e do eletrodo de grafite na confecção de pilhas alternativas (SCAFI, 2010).

No entanto, abordar o assunto com alunos, que já são profissionais, e atuam nas suas respectivas áreas, a abordagem deve ser técnica e embasada em normas técnicas. A fim de validar os ensaios realizados e aplicados na aula, se aproximem da realidade desses profissionais. Não impedindo, também, que o professor utilize exemplos práticos e até lúdicos, resgatando na memória desses alunos, os conhecimentos básicos de química, já aprendidos anteriormente.

Ao abordar o tema é importante ressaltar que a corrosão é um processo espontâneo e se não fosse o uso de técnicas de proteção anticorrosiva, tais como, tintas, ocorreria a deterioração mais rápida dos materiais metálicos, pois os processos de corrosão são reações químicas e eletroquímicas que se passam na superfície do metal e obedecem a princípios estabelecidos (GENTIL, 2003).

Os metais podem apresentar diferentes velocidades de corrosão dependendo do meio em questão, e das condições operacionais. Por isso torna-se importante, antes do emprego do material, estudar o conjunto, isto é, meio corrosivo, material metálico e condições operacionais, conforme pode ser observado na Tabela 3.2. (GENTIL, 2003).

Tabela 3.2- Tabela de exemplos de metais e sua resistência à corrosão

<b>Metais</b>	<b>Resistência à corrosão</b>	<b>Baixa ou nenhuma resistência à corrosão</b>
Ouro e platina	Meios comuns	Solução de água-régia (mistura de HCl e HNO <sub>3</sub> )
Aço inoxidável (AISI 304)	Vários meios corrosivos	Íon cloreto (Cl <sup>-</sup> ).
Alumínio	Ácidos oxidantes como o nítrico (HNO <sub>3</sub> )	HCl, às soluções aquosas de bases fortes como, NaOH e a Hg ou sais de Hg.
Cobre e suas ligas	Soluções salinas, alcalinas e meios orgânicos.	Soluções amoniacais e em HNO <sub>3</sub>
Titânio	Meios ácidos em geral.	HF

Fonte: GENTIL, 2003

De acordo com os casos de corrosão existentes na natureza, os processos corrosivos podem ser classificados em dois grandes grupos: corrosão química e corrosão eletroquímica. Estes dois tipos de corrosão têm a sua ocorrência devido a fatores descritos na Figura 3.1 (NUNES, LOBO, 1990).

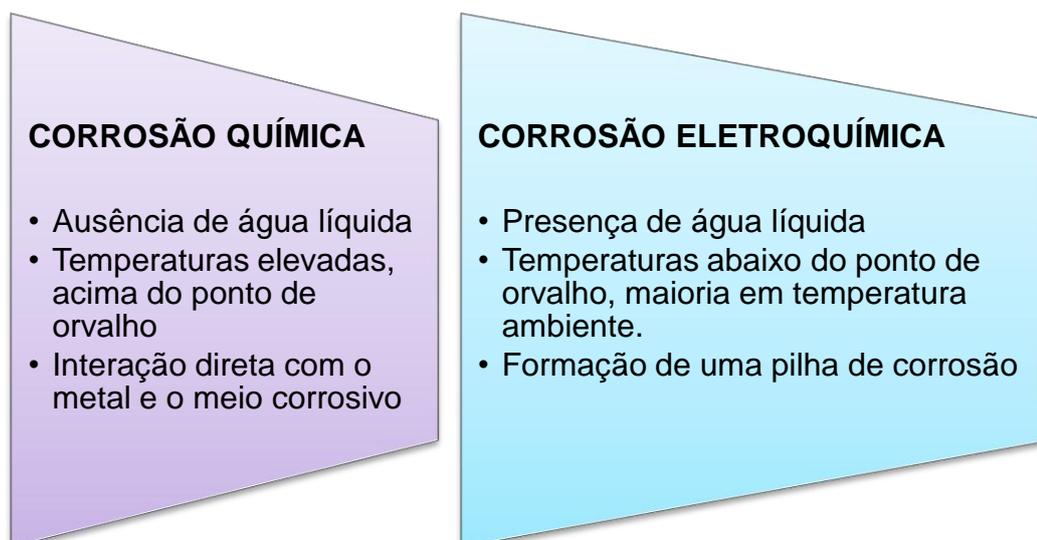


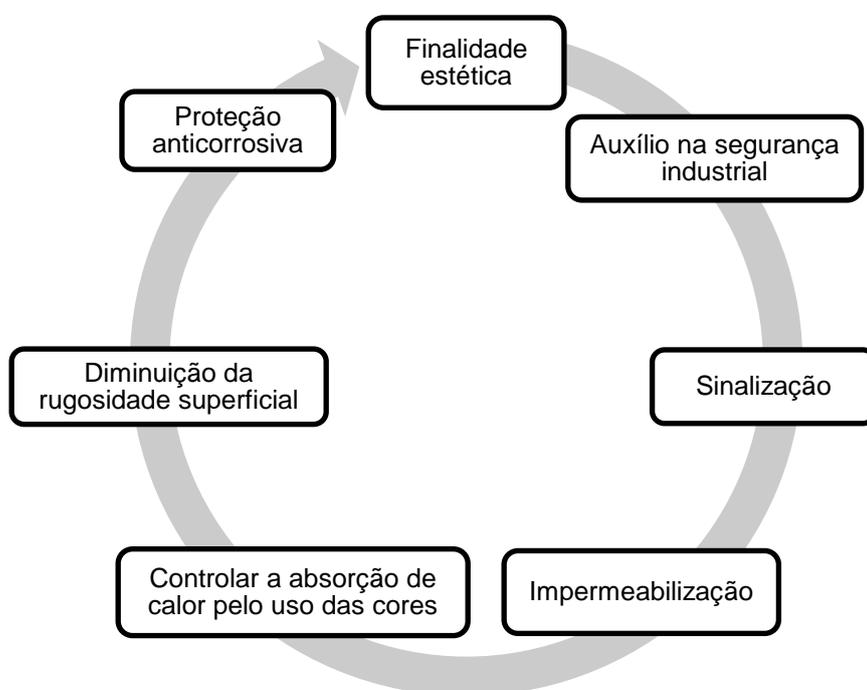
Figura 3.1: Fatores de ocorrência característicos para corrosão de acordo com sua natureza, corrosão eletroquímica e corrosão química. (NUNES, LOBO, 1990)

Apesar de a corrosão estar associada aos efeitos negativos relacionados à degradação de materiais. Segundo Gentil (2003), existem também efeitos benéficos da corrosão para a vida útil das estruturas como, por exemplo, as camadas de óxidos protetores que passivam a superfície metálica e mantém as estruturas íntegras por longo tempo, dependendo do meio de exposição. É o caso de materiais como aço patinável, aço inoxidável e alumínio, entre diversas ligas metálicas. Neste caso, existe a importância técnica de proteção catódica para a preservação das estruturas industriais (GENTIL, 2003).

Contudo a ocorrência da corrosão em materiais metálicos é, em geral, um problema e ocorre de maneira frequente, afetando diversas atividades, seja na indústria petrolífera, petroquímica, naval, construção civil, ou nos meios de transportes (GENTIL, 2003).

### 3.3 ESQUEMAS DE PINTURA PARA SUPERFÍCIES METÁLICAS

Dentre as técnicas de proteção anticorrosiva, a aplicação de tintas ou esquemas de pintura é uma das mais empregadas, uma vez que possui uma série de propriedades importantes (CYTED, 2002), conforme discriminadas na Figura 3.2.



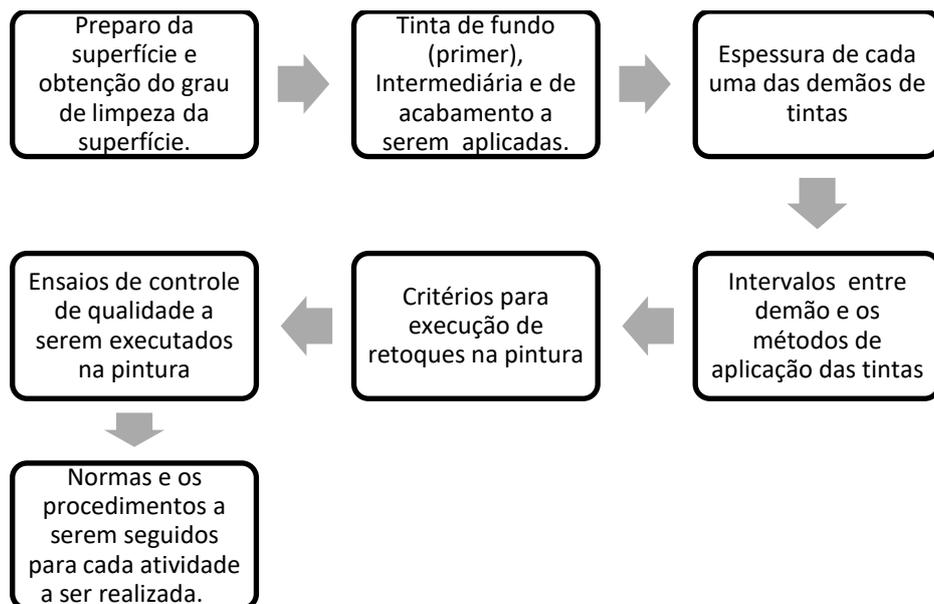
Fonte: CYTED, 2002.

Figura 3.2- Propriedades da pintura como técnica de proteção anticorrosiva.

No contexto faturamento, o mercado brasileiro de tinta representou em 2009 um total de US\$ 3,03 bilhões em relação a US\$ 3,19 bilhões em 2008. O crescimento previsto para 2010 foi de 3,4% em receita (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS, 2010, apud RIGOLETTO, 2010). Diante do consumo de tintas no Brasil e no mundo e do uso elevado de tintas anticorrosivas no setor elétrico, considera-se que o tema proposto pode ser utilizado como tema motivador e contextualizador nas aulas do Ensino Médio.

No contexto ensino e aprendizado, pode-se explorar a realidade em que vive o aluno por meio da interdisciplinaridade e da contextualização dos conhecimentos adquiridos pelo mesmo durante a sua vida acadêmica e social de forma a fazê-lo interagir com o tema abordado em sala de aula pelo educador, dando significado ao seu aprendizado com o uso de um conhecimento já existente de acordo com sua experiência de vida, isto é, a sua realidade cotidiana. O incentivo da contextualização do uso e consumo de tintas no setor elétrico pode incentivar o despertar pela ciência bem como na busca de profissões relacionadas a área de tintas e manutenção do setor elétrico.

Para proteger uma superfície metálica por meio de revestimentos por pintura, é realizada a aplicação de um esquema de pintura sobre a superfície a ser protegida. O esquema de pintura pode ser definido como um procedimento cujas especificações abrangem todos os detalhes técnicos envolvidos em sua aplicação conforme ilustra o fluxograma da Figura 3.3 (CYTED, 2002).



Fonte: CYTED, 2002.

Figura 3.3 - Descrição do esquema de pintura.

Ao tratar-se de proteção anticorrosiva de estruturas metálicas ou de equipamentos, um esquema de pintura é composto, na maioria dos casos, por três tipos de tinta, descritas a seguir e representadas pela ilustração da Figura 3.4 (CYTED, 2002).

(i) Tinta de fundo ou primária (*primer*)

São tintas aplicadas diretamente ao substrato, portanto estão em contato direto com o mesmo, conferindo aderência dos esquemas de pintura ao substrato. Contém em sua composição pigmentos anticorrosivos conferindo ao substrato uma proteção anticorrosiva (CYTED, 2002).

(ii) Tinta intermediária

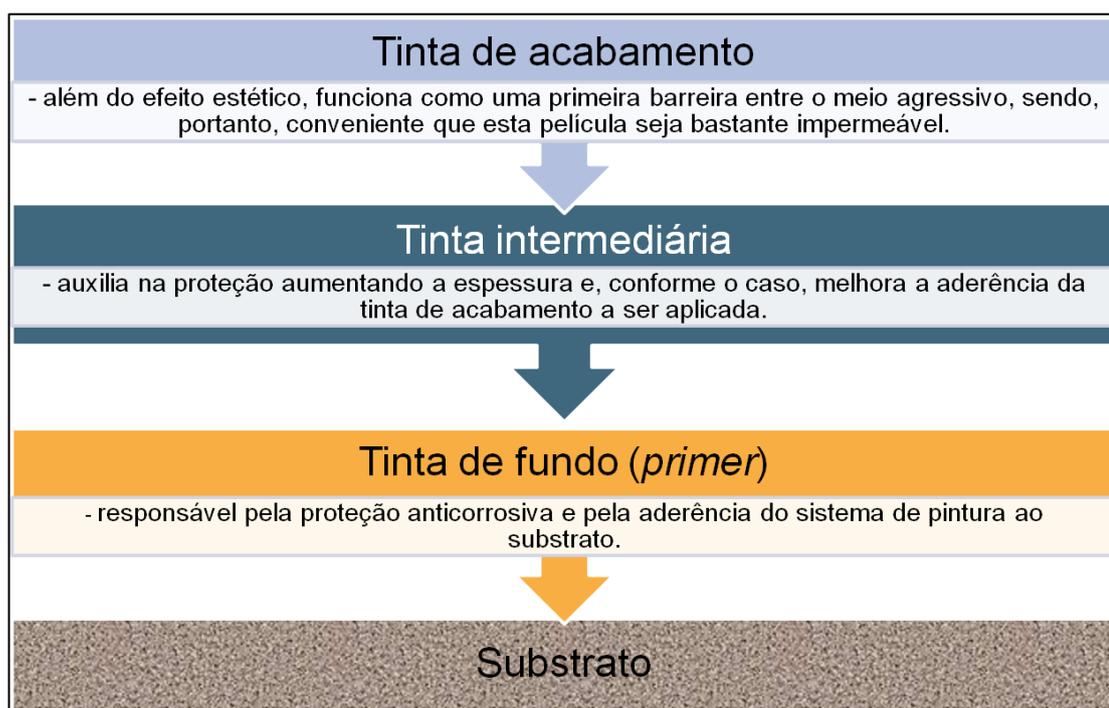
São utilizadas nos esquemas de pintura, a fim de aumentar a espessura do revestimento, permitindo um menor número de demãos, para melhorar as características de proteção por barreira do esquema. Por isso, essas tintas possuem alto teor de sólidos em sua formulação (CYTED, 2002).

Há tintas que são intermediárias, mas, não aumentam a espessura. São chamadas de tintas seladoras, servindo para selar uma película de tinta porosa antes da aplicação da tinta de acabamento.

Um exemplo de tinta seladora, pode ser observado num esquema de pintura com tintas de fundo ricas em zinco a base de silicatos. Neste caso, é aconselhável a utilização da tinta epóxi sobre a tinta de fundo rica em zinco para selar a superfície, e evitar a formação de bolhas e de descascamento do revestimento (CYTED, 2002).

### (iii) Tinta de acabamento

São tintas que possuem a função de conferir a resistência química ao revestimento já que terão contato direto ao meio corrosivo, além de conferir a cor final aos revestimentos por pintura (CYTED, 2002).



Fonte: CYTED, 2002.

Figura- 3.4 - Representação esquemática de tintas que, normalmente, compõem o esquema de pintura.

Destaca-se que nem sempre é necessária a presença da tinta intermediária. Dependendo da especificação do esquema de pintura, ela pode ser substituída por uma demão adicional da tinta de fundo ou da tinta de acabamento.

### 3.4 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE TINTAS

Podemos definir tinta como um material composto por uma matriz polimérica (veículo) e por um conjunto de partículas (pigmentos, carga, entre outros) dispersas nela. A formação de um revestimento é a transformação de uma película úmida, em película seca, geralmente, por um processo de polimerização (CYTED, 2002).

As fábricas de tinta utilizam uma variedade de matérias-primas e tecnologia na sua industrialização, pois são vários os tipos de tintas e de superfícies a serem aplicadas. De modo geral, na composição de uma tinta líquida industrial, existem os seguintes componentes: pigmento, resina, solvente e aditivo (GENTIL, 2003).

A resina constitui o veículo da tinta, e é o principal constituinte que mais a caracteriza. O solvente constitui a parte volátil da tinta, e são capazes de solubilizar a tinta, propiciando sua aplicabilidade, e são selecionados de acordo com a natureza do veículo da tinta. Os pigmentos são substâncias geralmente pulverulentas adicionadas às tintas para conferir cor, encorpar a película, conferir propriedades mecânicas, bem como, anticorrosivas (NUNES, LOBO, 1990).

Para garantir uma boa pintura, além de verificar a qualidade da tinta, preparar adequadamente a superfície, avaliar as condições climáticas, entre outros, é necessário que o serviço seja realizado por profissionais treinados, com ferramentas adequadas para aplicação da tinta, para se obter um resultado final satisfatório (GENTIL, 2003).

A Tabela 3.3 apresenta uma relação de compatibilidade para diferentes tipos de tintas anticorrosivas, a fim de orientar na especificação correta dos esquemas de pintura de manutenção. Tal critério refere-se a esquemas recém-aplicados e com tempo de cura ainda pequeno. Contudo, algumas tintas, depois de certo período de envelhecimento, podem receber esquemas que, a princípio são incompatíveis, como ocorre para a tinta alquídica. Se uma tinta epóxi for recém aplicada sobre a tinta alquídica pode causar o enrugamento do revestimento. Porém, se a tinta alquídica

estiver envelhecida, será possível aplicar a tinta epóxi, não apresentando, neste caso, problemas de compatibilidade (NORMA ELETROBRAS, NE-005).

Tabela 3.3- Compatibilidade entre tintas para especificação de pintura.

Tinta existente	Tinta a ser aplicada					
	Alquídica	Borracha Clorada	Acrílica	Epóxi	Poliuretano	Epóxi Alcatrão de Hulha
Alquídica	C	NR	NR	NR	NR	NR
Borracha Clorada	C	C	C*	NR	NR	NR
Epóxi	C**	C**	C**	C	C	C
Epóxi Alcatrão de Hulha	NR	NR	NR	NR	NR	C

C = compatível, NR = não recomendado, C\* = compatível, porém não é prática normal, C\*\* = compatível (desde que o intervalo máximo entre demãos não seja excedido)

Fonte: Norma técnica Eletrobrás NE 005 de Identificação e compatibilidade entre esquemas de pintura

### 3.5 PRINCIPAIS TINTAS DE ACABAMENTO

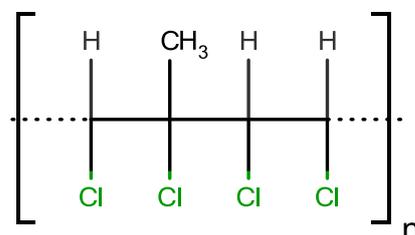
Neste trabalho serão abordadas tintas de acabamento que foram estudadas para o ensaio de compatibilidade entre as mesmas, isto é, alquídica, borracha clorada, acrílica, epóxi e poliuretano.

#### 3.6.1 Borracha clorada

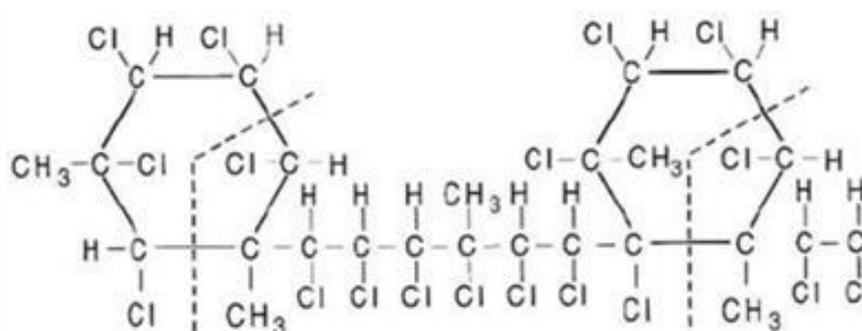
A borracha clorada é uma resina obtida pela cloração da borracha natural (GENTIL, 2003), ou da cloração da borracha sintética proveniente da adição do isopreno  $[-CH_2C(CH_3)CHCH_2-]$ , encerrando em sua composição um teor de cloro da ordem de 67% p/p (CYTED, 2002).

A estrutura final da borracha clorada possui hidrocarbonetos clorados de cadeia acíclica e cíclica, conforme representado nas Figuras 3.5(A) e (B) respectivamente, a borracha clorada é solúvel em hidrocarbonetos aromáticos,

ésteres, cetonas e solventes clorados e decompõe sob ação da radiação ultravioleta (UV), liberando HCl (CYTED, 2002).



(A)



(B)

Fonte: CYTED, 2002.

Figura 3.5 – (A) Representação da estrutura final da borracha clorada, com hidrocarbonetos clorados de cadeia acíclica e, em (B), Representação estrutura final da borracha clorada, com hidrocarbonetos clorados de cadeia cíclica.

Segundo CYTED (2002), que a borracha clorada, isoladamente, não propicia a formação de películas de tinta com boas propriedades físicas, porque esta resina é termorrígida, diferente dos termoplásticos, não possui flexibilidade tornando-se quebradiça após a cura. Por este motivo, é necessário adicionar às tintas plastificantes, que por sua vez, devem apresentar resistência química adequada e, preferencialmente, com constituição química semelhante à resina.

As tintas fabricadas pela resina borracha clorada são resistentes a ácidos e a álcalis, e são pouco tóxicas, se aplicadas em temperaturas ambiente. Visto que sua

degradação se dá por volta de 65°C e há neste caso há liberação de HCl (NUNES, LOBO, 1990).

De acordo com os preceitos da sustentabilidade, a utilização das tintas de borracha clorada tende a ser cada vez menor, uma vez que, elas possuem em sua composição uma quantidade elevada de compostos orgânicos voláteis, prejudiciais ao meio ambiente. Quando considera-se a relação custo-benefício, já há no mercado tintas anticorrosivas mais atrativas do que a borracha clorada (GENTIL, 2003).

A formação da película de tinta de borracha clorada ocorre somente pela evaporação do solvente, caracterizando sua sensibilidade a seus solventes (NUNES, LOBO, 1990). Esta característica é determinante para a sua identificação no teste de solubilidade, de acordo com a Norma Eletrobras NE-005.

### 3.6.2 Acrílica

As resinas acrílicas são polímeros obtidos a partir de monômeros de ésteres dos ácidos acrílicos e metacrílicos a partir de esterificação (CYTED, 2002). Essas resinas podem ser versáteis, podendo ter elasticidade elevada, ou rígidas, admitindo usinagem (GENTIL, 2003). Os polímeros acrílicos mais utilizados na indústria de tintas são os poliácridatos e polimetacrilatos representados na Figura 3.6.

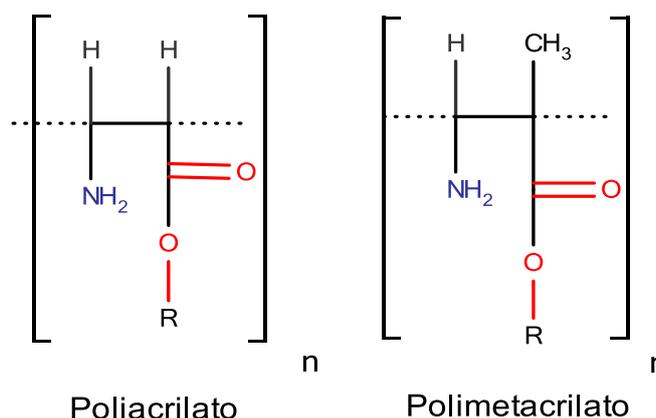


Figura 3.6 – Representação da estrutura dos monômeros constituintes dos polímeros poliacrilato e polimetacrilato.

Na fabricação de tintas utilizam-se, normalmente, as resinas acrílicas a base de solventes orgânicos, e quando produzidas somente com resina acrílica possuem

características de serem resistentes à radiação solar, em especial aos raios ultravioletas, e, conseqüentemente, apresentam boa retenção de cor e brilho, quando a película de tinta estiver exposta aos intempéries (CYTED, 2002).

As resinas acrílicas, cujo processo de polimerização há a incorporação do monômero estireno, possuem menor resistência à raios ultravioletas, bem como, menor retenção de cor e de brilho em sua aplicação, sendo mais propensas a formação de gizamento (MUNGER, 1984).

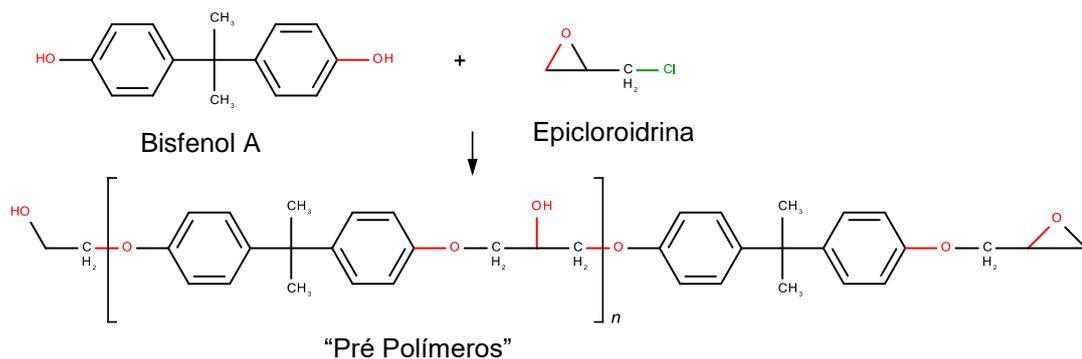
As tintas com o veículo acrílico são caracterizadas pela excelente resistência aos raios ultravioleta, um efeito estético valorizado. A resina também confere à tinta uma razoável resistência química, a ácidos e a meios alcalinos. Contudo, sua formação de película ocorre somente por evaporação de solvente, por isso ela possui sensibilidade aos seus solventes (NUNES, LOBO, 1990).

A característica da resistência química da tinta acrílica será determinante em sua identificação por ensaios de solubilidade, resistência ao meio alcalino e ao  $H_2SO_4$  concentrado (Norma Eletrobras NE-005).

### **3.6.3 Epóxi**

As resinas epoxídicas ou resinas epóxi são atualmente um dos mais importantes veículos efetivos para o combate a problemas de corrosão, por conta das suas boas propriedades de aderência e resistência química. Além de boas resistência à abrasão e ao impacto (GENTIL, 2003).

Na Figura 3.7 estão representados os compostos epicloridrina e o difenilpropano (bisfenol-A), que são as principais matérias-primas utilizadas para a obtenção da resina epóxi. No tratamento com base em condições cuidadosamente controladas, o bisfenol-A é convertido em seu ânion, que age como um nucleófilo em uma reação de substituição nucleofílica de segunda ordem com o epicloridrina (MCMURRY, 2011).

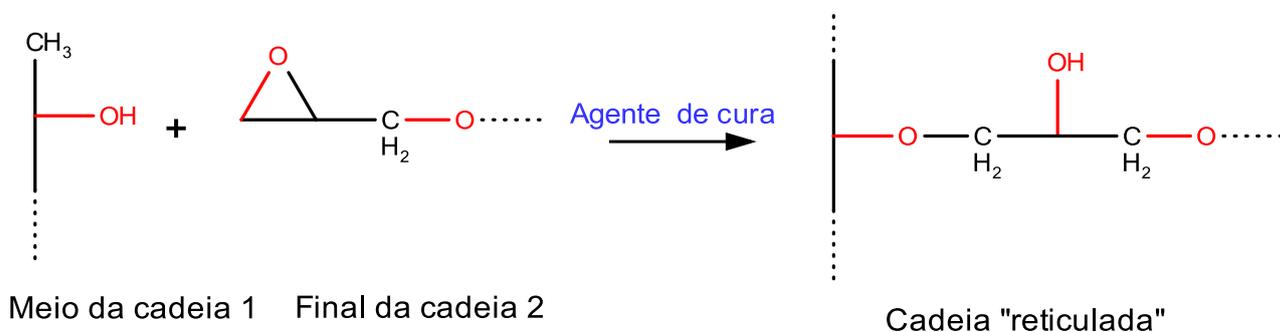


Fonte: MCMURRY, 2011

Figura 3.7 - Principais matérias-primas utilizadas para a obtenção da resina epóxi epicloridrina e o difenilolprapano (bisfenol-A).

Quando o epoxídico for ser usado como um agente de cura básico, ele é adicionado permitindo a ligação das cadeias do pré-polímero (MCMURRY, 2011). Esta reação ocorre com a abertura do anel epóxido catalisada por uma base, de um grupo –OH presente no meio da cadeia, com um grupo epóxido da extremidade de uma outra cadeia, (Figura 3.8), resultando num produto com entrelaçamentos tridimensionais caracterizando um material com alta resistência química (MCMURRY, 2011) a ácidos, a álcalis e a solventes orgânicos. Além de possuir menor tempo de secagem (NUNES, LOBO, 1990).

Ressalta-se que o agente de cura, também, pode ser uma poliamida, apresentando menor resistência a solventes, a álcalis e a ácidos. Além de demorar mais a secar quando é realizada a sua aplicação (NUNES, LOBO, 1990).



Fonte: MCMURRY, 2011

Figura 3.8- Processo de cura da resina epoxídica.

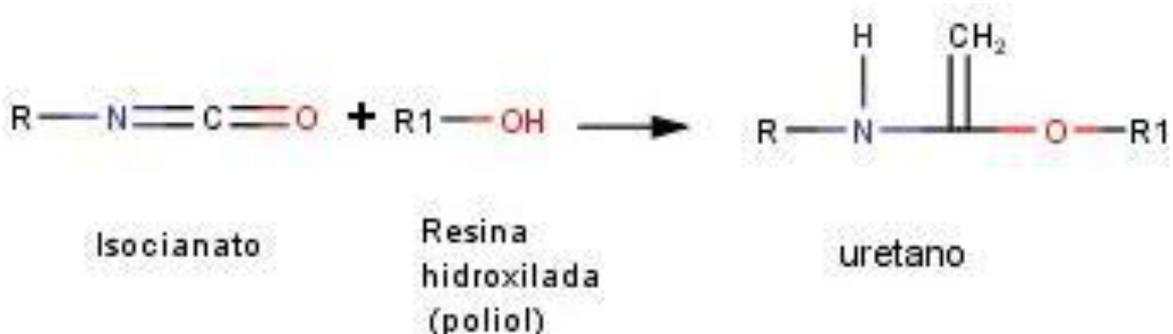
Dentre as tintas epoxídicas existentes no mercado a tinta epóxi alcatrão de hulha, conhecida como *coal-tar* epóxi é a combinação da resina epóxi com a resina betuminosa (GENTIL, 2003).

As resinas betuminosas são obtidas a partir de resíduos dos processos de destilação de petróleo, e a característica deste produto é a alta resistência a água, porém fraca resistência aos raios ultravioleta, essas tintas compostas pelo *coal-tar* são indicadas para condições enterradas ou submersas (CYTED, 2002). Contudo, o seu uso têm sido progressivamente substituído por outras tecnologias isentas de alcatrão de hulha, existindo no mercado diversos revestimentos denominados *tar-free*, que significa um revestimento livre de alcatrão de hulha. Este material agressivo ao meio ambiente e cancerígeno ao contato humano (CEPEL, 2016).

Para o ensaio prático de detecção da resina epóxi definido pela Norma PETROBRAS N 2612, a resina reage com o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, formando um produto que, em contato com a celulose do papel de filtro, tem a tonalidade violeta. Segundo McMurry (2011), os alcenos podem ser oxidados para gerar grupos epóxidos no tratamento com um peroácido (RCO<sub>3</sub>H) e um epóxido sofre reação de abertura do anel catalisada por ácido aquoso.

#### 3.6.4 Resinas poliuretânicas

As resinas poliuretânicas são polímeros obtidos a partir da reação de compostos poli-hidroxilados (polióis) com poliisocianatos, conforme ilustrado na reação da Figura 3.9 (GENTIL, 2003).



Fonte: GENTIL, 2003.

Figura 3.9- Representação da reação de compostos poli-hidroxilados (polióis) com poliisocianatos para obtenção do polímero poliuretano.

Os polióis mais empregados são os poliésteres poliidroxilados e as resinas acrílicas poliidroxiladas e os poliisocianatos mais empregadas são as de cadeia linear, alifáticas, como o diisocianato hexametileno, que conferem boa resistência em relação a raios ultravioleta para a tinta de poliuretano alifático. O aromático, como o 2,4-tolueno diisocianato e o 2,6-tolueno diisocianato (TDI) e as resinas de poliuretano aromático são indicados para ambientes internos por possuir baixa resistência ao intemperismo natural, sendo susceptíveis a gizamentos (GENTIL, 2003).

Um monômero de poliuretano pode ser preparado pela adição nucleofílica entre um isocianato e um álcool. Assim como, um poliuretano pode ser sintetizado pela reação de um diol, um polímero de massa molecular de, aproximadamente, 1.000 u, com grupos hidroxilas nas extremidades, e um diisocianato, geralmente o tolueno-2,4-diisocianato. Contudo, diferentes tipos de poliuretanos podem ser produzidos de acordo com a natureza do álcool polimérico aplicado (MCMURRY, 2011).

As tintas de poliuretano são fornecidas em dois componentes, sendo o componente A constituído pela resina poliidroxilada (poliéster ou acrílica) e o componente B, pelo agente de cura, um poliisocianato alifático ou aromático. Para ambos os casos de agentes de cura, aromático ou alifático, a película seca de tinta possui alta resistência a meios agressivos, fornecendo boa proteção anticorrosiva. Além de possuir boas propriedades físicas, como dureza, resistência ao impacto e à abrasão. Já, a tinta monocomponente é produzida com poliisocianato, e possui a formação da película de tinta por meio da reação de grupos de isocianato livres, presente no polímero, com a umidade do ar (CYTED, 2002).

### **3.6.5 Alquídica**

As resinas alquídicas são poliésteres provenientes da reação entre alcoóis poliídricos (glicerol e pentaeritritol) com poliácidos ou seus anidridos (anidridos ftálicos) modificados com ácidos graxos livres ou contidos em óleos vegetais (GENTIL, 2003).

De acordo com o tipo de óleo vegetal aplicado na composição da tinta, o mesmo influencia o tempo de secagem. Para teores mais elevados de óleo, até

70%, a tinta é considerada para usos de pouca responsabilidade (NUNES, LOBO, 1990).

No entanto, as resinas alquídicas curtas, ou seja, que possuem um teor ou comprimento de óleo entre 33 a 43%, têm um tempo de secagem mais rápido, uma vez que, quanto maior a quantidade de óleo na constituição da tinta mais tempo será necessário para a sua secagem e, conseqüentemente, menor resistência a agentes químicos. Já que, a formação de película da tinta alquídica se dá pela oxidação com o oxigênio do ar (GENTIL, 2003).

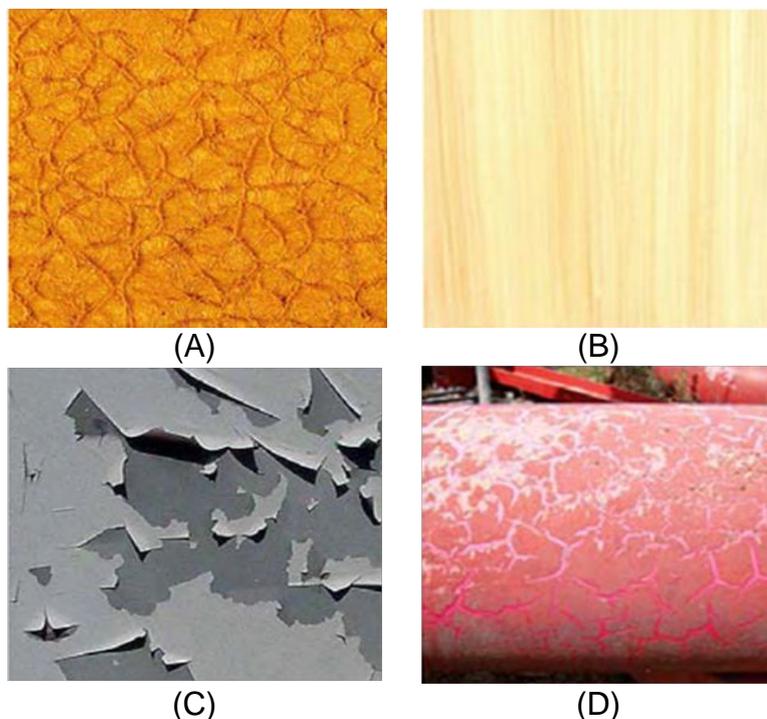
Em relação à resistência química, a tinta alquídica possui resistência maior que às tintas a óleo, porém tendem a saponificar, não sendo própria para a aplicação em atmosferas agressivas. Sua secagem se dá pela evaporação do solvente e, principalmente, pela oxidação do óleo secativo, apresentando uma temperatura limite de utilização, em torno, de 80°C (NUNES, LOBO, 1990). Contudo, para a aplicação em atmosferas rurais, urbanas e industrial leve, este tipo de tinta pode ser utilizada. Além de possuir custo inferior às outras tintas anticorrosivas, as tintas alquídicas têm aplicação em manutenção industrial, construção civil e pintura doméstica (GENTIL, 2003).

Utiliza-se a característica da tinta alquídica de possuir baixa resistência ao meio alcalino, sofrendo a reação de saponificação (NUNES, LOBO, 1990), no ensaio de identificação desta resina. Outra característica da tinta alquídica que favorece a sua identificação durante ensaios práticos em laboratório é o fato da resina de poliéster ser obtida normalmente pela reação entre um poliálcool e um poliácido, sendo o poliácido mais utilizado o ácido ftálico, na forma de anidrido ftálico (NUNES, LOBO 1990). Após a decomposição térmica desta resina, ocasionada pela pirólise, estes compostos ftálicos podem estar presentes na forma de cristais pontiagudos. Este resultado é utilizado como confirmação ao ensaio de identificação de resinas que possuem este produto em sua composição, como a alquídica (NORMA ASTM D 5043).

### 3.6 DEFEITOS PROVOCADOS POR INCOMPATIBILIDADE DE TINTAS

É importante realizar a especificação de esquemas de pintura a fim de conhecer o tipo de tinta envelhecida sobre a qual o novo esquema será aplicado,

visto que numa especificação feita sem critério poderão ocorrer problemas durante ou logo após a aplicação da primeira demão de tinta sobre a pintura, como por exemplo, enrugamento, sangramento, esfoliação e fissuras, representados na Figura 3.10 (FRAGATA et. al., 2014).



Fonte: (Fragata et al., 2014)

Figura 3.10 - Exemplos de defeitos de pintura: (A) Enrugamento, (B) Sangramento, (C) Esfoliação e (D) Fissuras ou fendimento.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ELABORAÇÃO DA AULA EXPERIMENTAL

Durante a elaboração da aula experimental, realizou-se a avaliação do método existente na Norma de Manutenção da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, (CHESF) de Identificação de Tintas de Acabamento e Teste de Compatibilidade entre Esquemas de Pintura de número NM-MN-SMN-003. Assim, a aula experimental foi embasada nesta norma para o treinamento de equipes de manutenção industrial do setor elétrico. Durante o trabalho em campo, as equipes de manutenção poderão aplicar os ensaios com o auxílio do kit prático apresentado durante a aula.

O *kit* prático foi composto por materiais e reagentes utilizados na aula experimental para a identificação de tintas de acabamento em esquema de pintura durante a recuperação de suas superfícies.

As amostras utilizadas foram disponibilizadas pelo Laboratório de Corrosão do Cepel. Foram utilizadas placas de aço carbono como substrato, com o esquema de pintura prévio conhecido pelo laboratório. Para cada tipo de tinta foram disponibilizadas no mínimo três placas com o mesmo esquema de pintura, uma foi utilizada para testar os ensaios previamente à aula e as outras duas foram separadas para as aulas experimentais.

As amostras foram numeradas e tiveram as suas tintas de acabamento identificadas de acordo com a resina que a constitui. A relação das amostras analisadas e suas respectivas identificações estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Amostras de tintas utilizadas nos ensaios e suas respectivas identificações.

Amostras	Identificação de resina
1	Borracha clorada
2	Acrílica
30	Alquílica
4	Poliuretano
5	Epóxi

Ao organizar a aula experimental foi elaborado um procedimento experimental, um fluxograma com a rota analítica e uma tabela de resultados. Para cada amostra de tinta realizou-se a identificação da sua resina, pelos seguintes testes: 1) **solubilidade**, 2) **chama**, 3) **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado**, 4) **pirólise** e 5) **resistência** ao meio alcalino.

A rota analítica dos ensaios, aplicados na aula experimental, encontra-se descrita no fluxograma da Figura 4.1. Os resultados, positivos e negativos, foram registrados por meio de fotografias, e as placas testadas foram guardadas para futuras comparações.

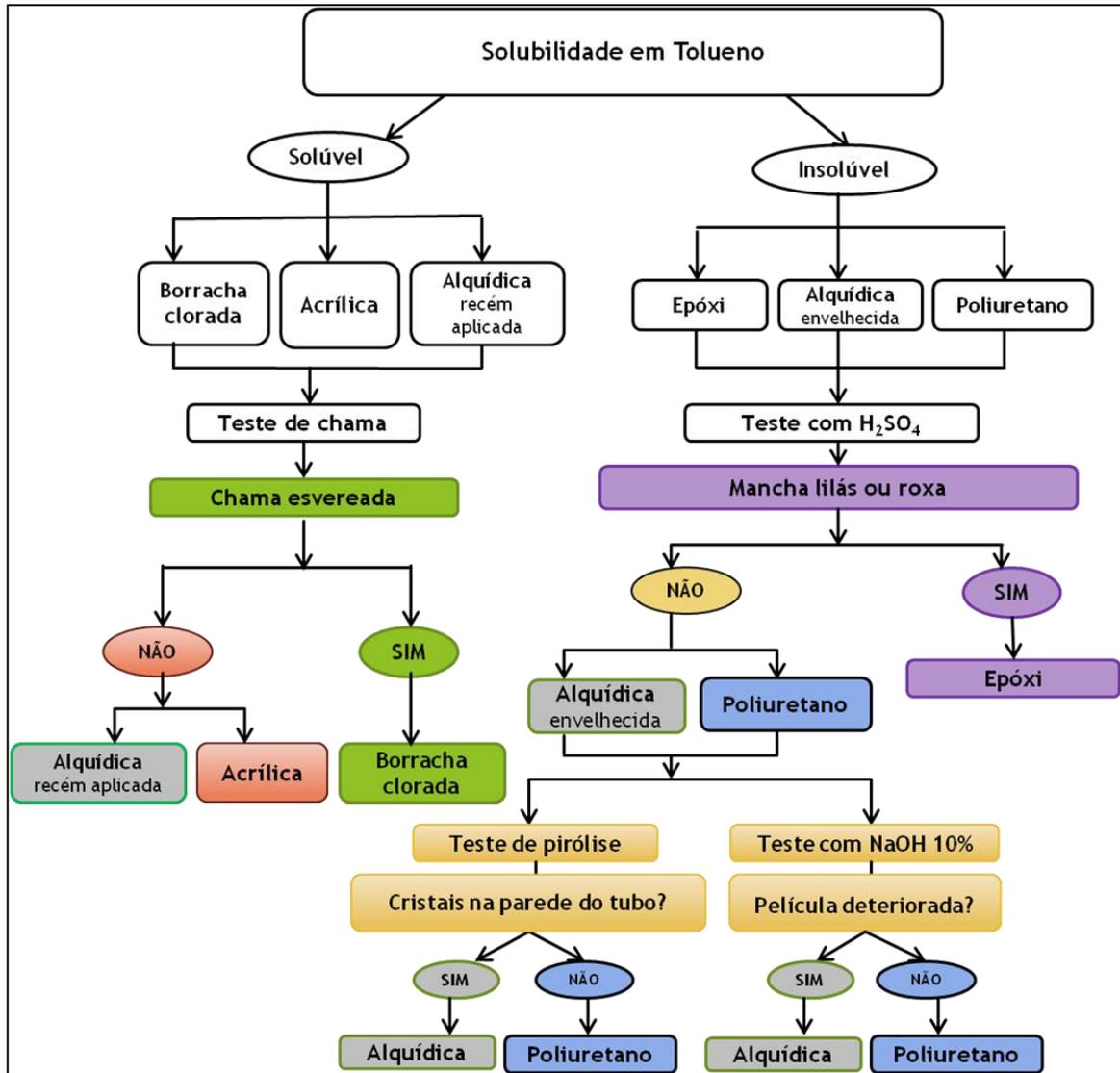


Figura 4.1- Fluxograma dos ensaios de compatibilidade.

Os ensaios práticos de caracterização das tintas por suas propriedades físico-químicas foram realizados previamente à aula experimental, a fim de testar os experimentos, bem como prever a duração da aula experimental e identificar os possíveis problemas que poderiam ocorrer nas etapas de execução dos ensaios, alguns desses problemas forma analisados e serão discutidos na Sessão 5.1.5.

Para otimizar o tempo da aula experimental raspou-se, previamente, a película das tintas de acabamento dos esquemas de pintura com o auxílio de espátulas e estiletes. Este procedimento foi executado com cautela para não permitir

que a raspagem chegasse até a tinta de fundo ou intermediária, evitando a contaminação da amostra de tinta de acabamento.

Armazenaram-se as raspas de tinta de acabamento em frascos de vidro transparentes, limpos, secos e identificados, para serem utilizadas durante a aula experimental nos testes de pirólise e de  $H_2SO_4$  concentrado. Para os testes de solubilidade e de chama, separou-se uma placa intacta de cada uma das tintas de acabamento a serem analisadas na aula.

O roteiro da aula experimental, Apêndice 1, contém os procedimentos experimentais, bem como, a relação dos materiais e dos reagentes, os cuidados a serem tomados no manuseio dos mesmos, e o fluxograma ilustrado na Figura 4.1, para a orientação da rota de testes a ser seguida.

O roteiro vem acompanhado de uma tabela de resultados para ser preenchida pelos alunos durante a aula, auxiliando-os na identificação dos resultados encontrados durante a prática. Elaborou-se esta tabela de resultados com o intuito do instrutor identificar durante a aula se a turma acompanhou corretamente os procedimentos experimentais e corrigir os resultados, caso tenha sido feita uma interpretação errada por parte dos alunos.

Para a aula experimental, as bancadas foram organizadas com os reagentes e os materiais necessários. Os *kits* práticos de identificação das amostras de tinta pelo tipo de resina que a compõe. Foi aplicado à turma após a aula um questionário para avaliação dos experimentos pelos alunos. A fim de identificar as dificuldades encontradas, e verificar se a aula os proporcionou o entendimento dos conceitos práticos necessários para realização futura dos testes em campo.

## 4.2 TURMAS AVALIADAS

Avaliaram-se três turmas em três situações distintas, conforme descrito na Figura 4.2. Duas turmas eram compostas de profissionais do setor elétrico, que participaram de um treinamento profissional no Cepel, turmas de abril e junho de 2016, e uma turma composta de alunos universitários, turma de dezembro de 2016.

Duas turmas participaram da aula experimental de compatibilidade entre tintas, turmas de abril e dezembro. Ressalta-se que para a turma de dezembro a

aula experimental foi demonstrativa. Já a terceira turma (turma de junho) não participou da aula experimental.

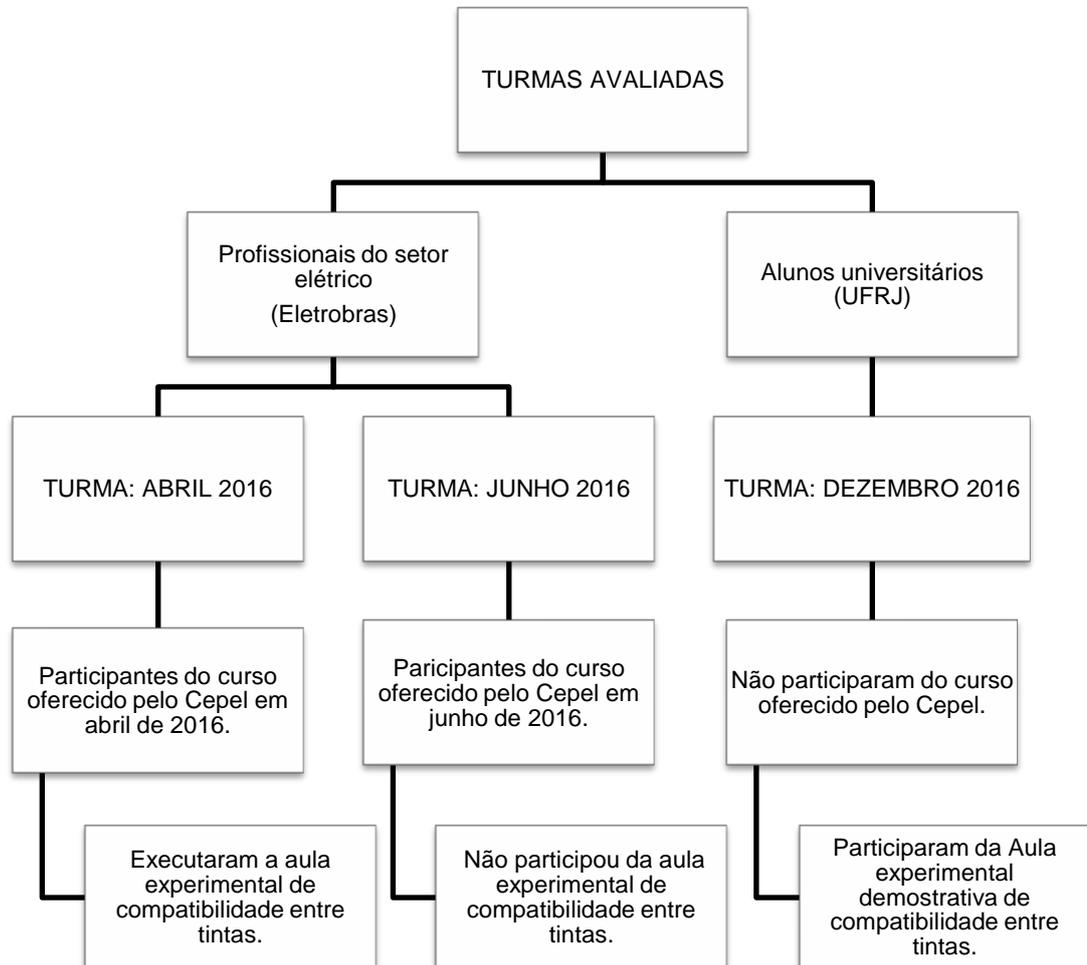


Figura 4.2- Turmas avaliadas em abril, junho e dezembro de 2016.

A aula experimental ministrada em dezembro de 2016 ocorreu durante a disciplina de Química Geral Experimental, oferecida a alunos de graduação da UFRJ dos seguintes cursos de engenharias: Naval e Oceânica, Mecânica, Elétrica e Civil. A aula experimental foi demonstrativa, porque a turma era composta por quarenta alunos. Dentro do cronograma da disciplina não seria possível dividir a aula para dias diferentes, para que os alunos participassem da aula executando os ensaios. Além desta disciplina a aula experimental acontece em sala de aula, conforme planejamento do Instituto de Química.

Analisou-se o desempenho das turmas que participaram da aula experimental, aplicando um questionário relacionado à aula prática, (Apêndice 2). E para as turmas que participaram do curso oferecido pelo Cepel, foi aplicada uma prova de conhecimentos teóricos em fundamentos de inspeção de pintura.

Comparou-se o desempenho das turmas de profissionais do setor elétrico durante o curso pelas provas realizadas. As avaliações utilizadas neste trabalho para análise das turmas trabalhadas estão descritas da Figura 4.3.

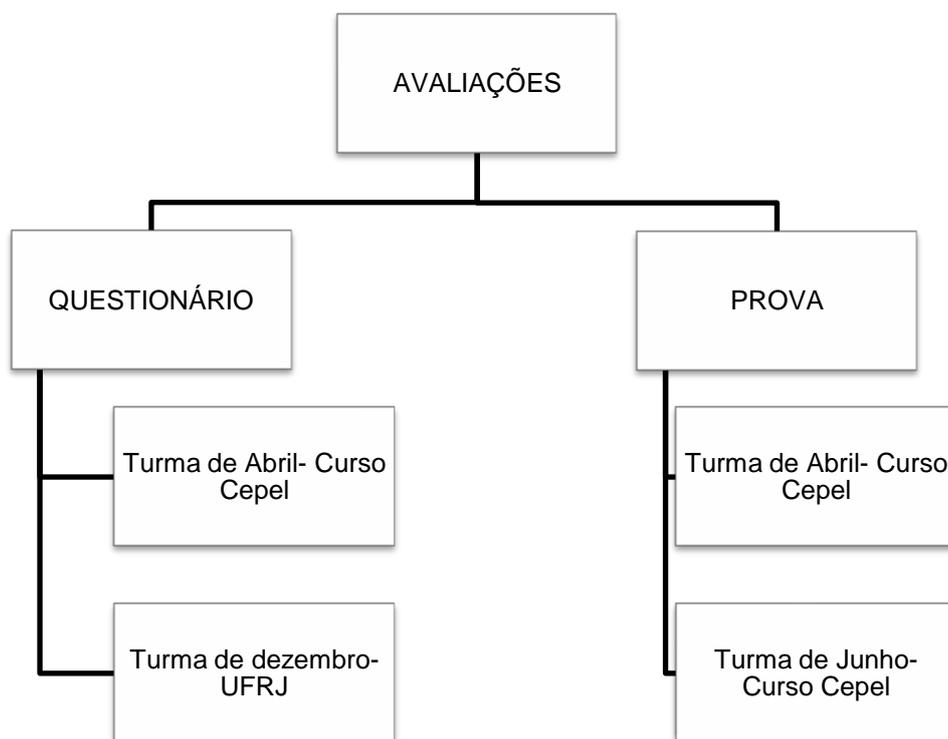


Figura 4.3- Avaliações utilizadas para análise das turmas trabalhadas.

### 4.3 QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS

Os questionários aplicados às turmas de abril e de dezembro estão apresentados nos Apêndice 2 e 3 respectivamente. Utilizaram-se os questionários para avaliar se o objetivo da aula experimental foi claro o suficiente aos alunos, bem como se o experimento auxiliou no entendimento do assunto abordado, isto é, corrosão e proteção anticorrosiva.

Por meio dos resultados do questionário estimou-se se o tema abordado estava dentro da realidade acadêmica ou profissional desses alunos. Questionou-se,

também, se eles consideram pertinente a abordagem deste tema a alunos de nível médio e realizou-se um levantamento sobre experiências anteriores dos alunos com aulas experimentais de química.

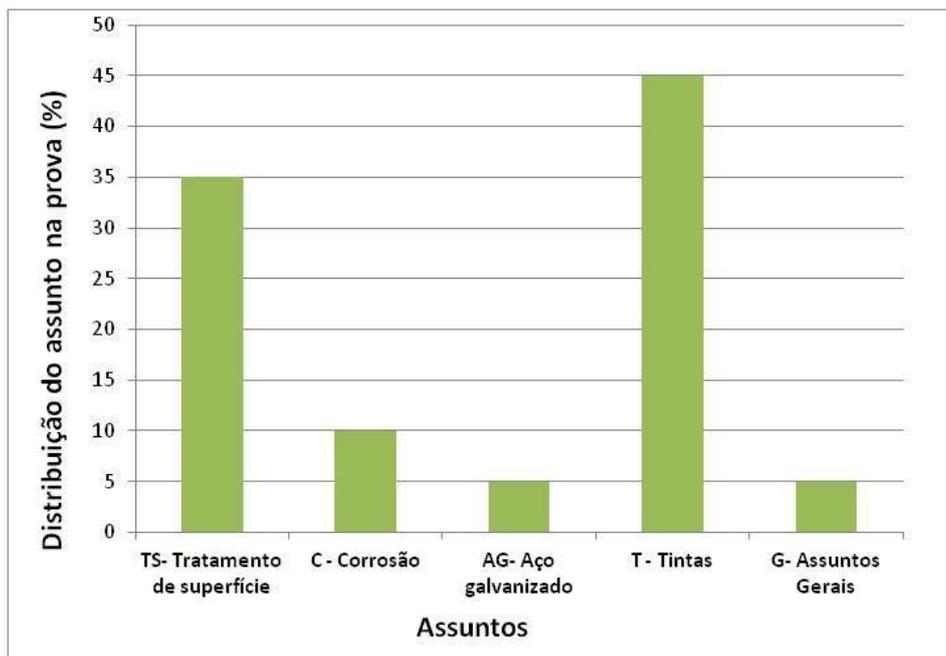
Durante o curso de fundamentos de inspeção de pintura oferecido pelo Cepel, os profissionais receberam um embasamento teórico de química voltado para a corrosão em equipamentos e estruturas metálicas do setor elétrico, bem como, de técnicas de proteção anticorrosiva e realizaram uma prova no último dia do curso.

A Tabela 4.2 apresenta os assuntos abordados na prova aplicada às turmas de abril e de junho. A prova foi composta por 20 questões dissertativas e de múltipla escolha. A prova e seu gabarito, por possuírem informações confidenciais e peculiares ao curso oferecido pelo Cepel foram mantidos em sigilo.

Tabela 4.2- Assuntos abordados, codificação e números de questões da prova aplicada.

<b>Assuntos abordados</b>	<b>Codificação</b>	<b>Números de questões</b>
Tratamento de superfície	TS	7
Corrosão	C	2
Aço galvanizado	AG	1
Tintas	T	9
Assuntos Gerais	G	1

De acordo com a divisão da prova por assunto, pode-se observar no gráfico da Figura 4.4 que a maior porcentagem de questões foi sobre Tintas e Tratamento de Superfície, equivalendo a 45 e 35%, respectivamente. Os demais assuntos foram divididos em 10% sobre Corrosão, 5% sobre Conhecimentos gerais e 5% sobre Aço galvanizado. Como os assuntos foram proporcionais aos conteúdos ministrados no curso, justifica-se a necessidade de ter uma aula experimental direcionada para tintas que corresponde ao maior percentual de conteúdo abordado no curso.



**Figura 4.4-** Gráfico percentual de distribuição do assunto abordado na prova. Os assuntos abordados foram sobre Tratamento de Superfície (TS), Corrosão (C), Aço Galvanizado (AG), Tintas (T) e Assuntos Gerais (AG).

Como a turma da UFRJ não participou do curso oferecido pelo Cepel, os alunos não realizaram a prova de fundamentos de inspeção de pintura. Contudo, previamente à aula experimental os alunos tiveram acesso ao tema corrosão, abordado pela professora da disciplina. Durante a aula experimental foi dada pela instrutora uma aula teórica sobre tintas anticorrosivas, conceitos básicos de práticas de combate à corrosão e inspeção de pintura.

#### 4.4 TESTES DE COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS ANTICORROSIVAS (NM-MN-SMN-003): IDENTIFICAÇÃO DE TINTAS DE ACABAMENTO

##### 4.4.1 Teste de solubilidade.

O teste de solubilidade verifica a resistência química da película seca de tinta em contato com o solvente tolueno e/ou metiletilcetona (MEC), a partir da solubilidade. Após o resultado separam-se as amostras em dois grupos, as solúveis e as insolúveis. Os materiais necessários para este ensaio são: algodão e os solventes, tolueno e metiletilcetona.

O procedimento experimental consiste em embeber um chumaço de algodão com o solvente (tolueno) e friccioná-lo durante 15 segundos sobre a superfície da placa de tinta. Em seguida, identifica-se a ocorrência ou não da solubilização da tinta pelo solvente.

O teste será positivo caso o algodão com o solvente fique manchado com a cor da tinta existente e a camada anterior do esquema de pintura ou o próprio substrato sejam expostos pela solubilização da tinta de acabamento. Caso contrário o teste será negativo.

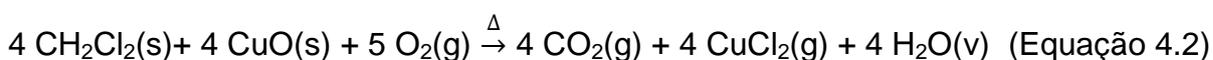
Para resultados positivos pode se tratar de uma tinta de borracha clorada, acrílica ou alquídica recém aplicada. Caso a amostra não seja solúvel em tolueno, sugere-se testar com o solvente metiletilcetona, para a possível identificação da tinta vinílica (cloreto ou acetato de vinila).

A solubilidade da tinta alquídica irá variar de acordo com o tempo de cura por oxidação da mesma, tintas alquídicas em processo de cura serão menos resistentes a solventes orgânicos que as completamente curadas.

Na aula experimental proposta neste trabalho, as amostras analisadas são de pintura envelhecida, por isso, não será considerada a tinta alquídica recém aplicada. Para uma situação de trabalho em campo, onde possa haver dúvida do tempo de cura da tinta, será necessário realizar os ensaios específicos de identificação de tinta alquídica, situados no bloco à direita do fluxograma da Figura 4.1.

#### **4.4.2 Teste de chama (teste de beilstein)**

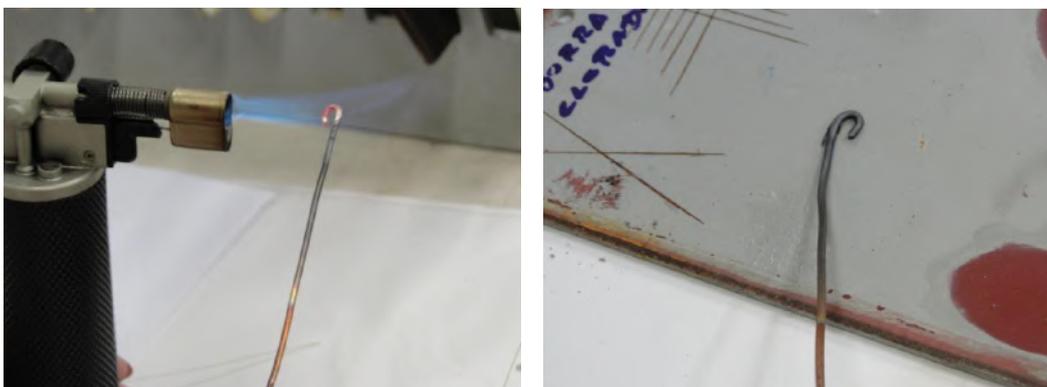
O teste de chama é normalmente utilizado para detectar a presença de alguns íons metálicos. Este ensaio foi realizado para identificar a presença de resinas cloradas, como por exemplo, borracha clorada, devido a formação do  $\text{CuCl}_2$  pela reação das Equações 4.1 e 4.2 (FRAGATA E COLS., 2014).



A identificação da presença do grupo cloro na tinta se dará pela coloração nitidamente esverdeada quando a película seca de tinta de borracha clorada entrar em contato com a chama.

Os materiais necessários são fio grosso de cobre previamente desencapado, lixada e limpo, lixa, algodão e maçarico.

Para a realização do experimento será necessário, aquecer ao rubro o fio de cobre utilizando o maçarico, verificando se a coloração da chama se mantém inalterada ao entrar em contato com o fio de cobre, para certificar-se a limpeza de sua superfície, Figura 4.(A). Em seguida, encosta-se o fio de cobre aquecido ao rubro na superfície da tinta de acabamento Figura 4.5(B), e levá-lo à chama, verificando se haverá a variação na cor da chama.



(A)

(B)

Figura 4.5- Sequência dos procedimentos para o teste de chama, em (A) Aquecimento do fio de cobre ao rubro (B), Encosta-se o fio de cobre aquecido ao rubro à película de tinta de acabamento durante uns 5 segundos.

O teste será positivo para uma chama de coloração esverdeada, indicando a presença de íons de cobre na chama, proveniente do cloreto de cobre formado com o cloro, oriundo da decomposição da resina clorada. Neste caso, identifica-se a tinta como borracha clorada. Caso o teste tenha resultado negativo, de acordo com a rota do fluxograma da Figura 4.1, trata-se de uma tinta acrílica.

#### 4.4.3 Teste com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado

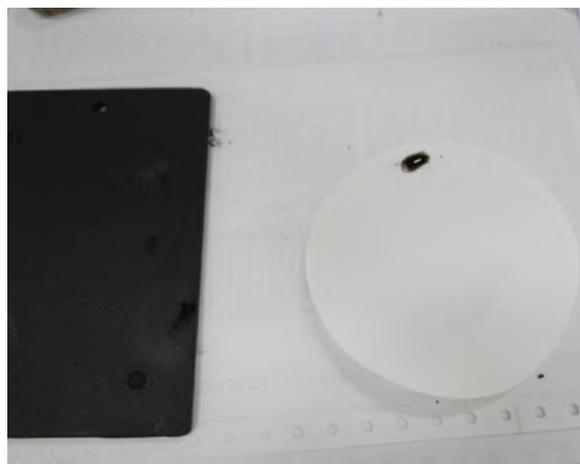
O teste com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado identifica a presença de resina epóxi na tinta, que em contato com o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e papel de filtro reagirá conferindo uma coloração roxa. Para a realização deste ensaio é indispensável o uso de luvas, devido o manuseio do ácido forte e oxidante (ASTM D 5043:2009).

A visualização do teste em branco é feito com o gotejamento do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diretamente no papel de filtro, sendo possível visualizar uma coloração amarela alaranjada, proveniente da oxidação da celulose. Os materiais necessários para a realização do teste são espátula (para raspar a película de tinta a ser analisada), pinça, papel de filtro, pipeta Pasteur e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado

Os procedimentos experimentais consistem em colocar uma pequena quantidade de amostra de tinta na superfície do papel de filtro no canto superior a folha. Em seguida, deve-se gotejar de uma a duas gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado sobre a amostra no papel, (Figuras 4.6 (A) e (B)). Inclinar, após 10 a 20 segundos, cuidadosamente a folha de papel para a gota de ácido sulfúrico escorrer para a parte inferior, verificar a coloração do ácido reagindo com a amostra e o papel. O teste será positivo para o aparecimento da coloração violeta que indicará que a tinta analisada possui resina epóxi.



(A)



(B)

Figura 4.6- Procedimentos experimentais para ensaio com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Em (A), Raspas de tinta epóxi alcatrão de hulha e, em (B), Gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sobre as raspas de tinta.

#### 4.4.4 Ensaio de diferenciação entre as tintas alquídicas e poliuretano

A diferenciação entre as tintas das resinas alquídica e poliuretano é realizada pelos testes de resistência química ao meio alcalino e de pirólise.

O ensaio de identificação da tinta em alquídica ou poliuretano pela utilização da solução diluída de NaOH a 10 %m/V consiste em avaliar a resistência química da tinta em contato com a solução alcalina de NaOH. Os materiais necessários para o teste são algodão, pinça, vidro de relógio e a solução NaOH 10 %m/V, Figura 4.7.

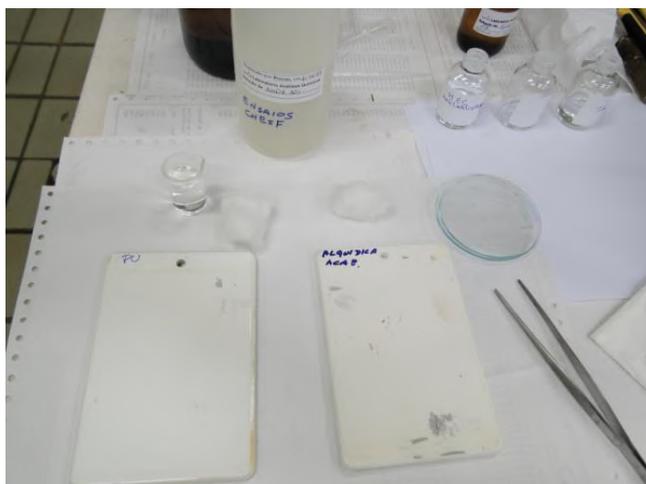
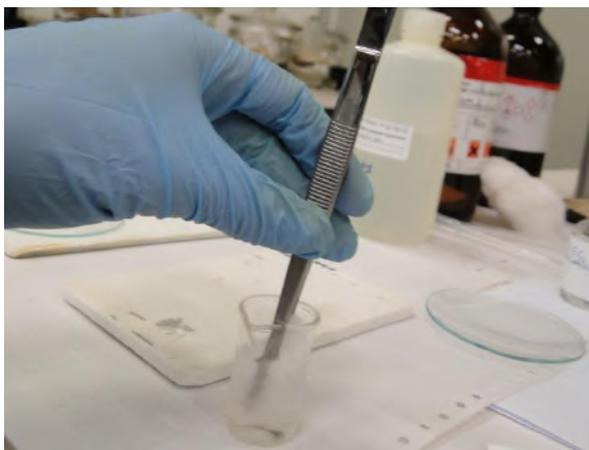
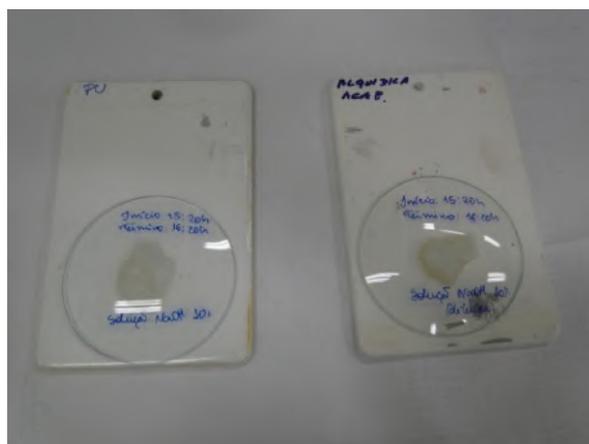


Figura 4.7 - Materiais e reagentes utilizados no teste de resistência química ao meio alcalino.

Os procedimentos experimentais consistem em embeber um pequeno chumaço de algodão numa solução de NaOH 10 %m/V, (Figura 4.8(A)) e colocá-lo em contato com a superfície da tinta, cobrir o algodão com um vidro de relógio, e aguardar de 30 a 40 minutos, Figura 4.8(B). Após o tempo de contato da solução alcalina com a superfície. Avalia-se o resultado, retirando o algodão com o auxílio de uma pinça.



(A)



(B)

4.8- Em (A), Chumaço de algodão sendo embebido em solução de NaOH 10% (v/v), e, em (B), Chumaço de algodão embebido em solução alcalina em contato com a superfície da tinta de acabamento

O resultado será positivo se a película for deteriorada e, neste caso, a tinta em análise será a alquídica indicando a ocorrência da reação de saponificação da resina com a solução alcalina. Se o resultado for negativo, provavelmente, a amostra trata-se de uma tinta que possui maior resistência química ao meio alcalino avaliado.

#### 4.4.4.1 Teste de pirólise

O teste de pirólise é realizado para identificar a amostra de tinta de acabamento, de acordo com a formação de cristais alongados tipo agulha nas paredes do tubo após a pirólise. Pode-se identificar a presença de compostos ftálicos, os quais são comuns nas tintas alquídicas, que possuem anidrido ftálico em sua composição.

Os materiais necessários para a realização do teste são espátula e estilete para raspagem da película de tinta, tubos de ensaio de vidro, pinça de madeira com haste longa, maçarico e lupa para auxiliar na visualização do produto da pirólise. Deve-se atentar aos vapores orgânicos que serão formados neste procedimento, os

quais são tóxicos e não devem ser inalados. Executar o teste preferencialmente em capela, ou quando for feito em campo direcionar o tubo no sentido oposto ao rosto.

Os procedimentos experimentais para o teste de pirólise consistem em raspar uma porção da película de tinta de acabamento com o auxílio de uma espátula, (Figura 4.9(A)), e inserir as raspas dentro de um tubo de ensaio de vidro. Em seguida, e com o auxílio do maçarico carbonizar a amostra, direcionando o fundo do tubo à chama, com o auxílio da garra de madeira, conforme está ilustrado na Figura 4.9(B).



(A)



(B)

Figura 4.9- Em (A), Raspagem da superfície de tinta no esquema de pintura e, em (B), Ensaio de pirólise (Realizado na capela)

Após a carbonização total do material é necessário deixar o tubo de ensaio em repouso de 20 a 30 minutos para que o mesmo esfrie completamente. Após esfriar o tubo, observar de forma minuciosa com o auxílio de uma lupa a parede interna do tubo de ensaio. O teste será positivo se na parede interna do tubo houver a presença de cristais pontiagudos, indicando a presença de compostos ftálicos. Para o teste positivo, a amostra encontrada é a tinta alquídica. Se o resultado for negativo, será a tinta de poliuretano.

Ressalta-se que não se deve iniciar a identificação de uma tinta com este ensaio. Porque se uma tinta, por exemplo a epóxi, contiver compostos ftálicos em sua composição, há um risco de se emitir um parecer errado. Seguindo corretamente a sequência de análise do fluxograma (Figura 4.1) o risco de haver influência desses fatores será pequeno.

#### **4.4.5 Testes complementares**

Para auxiliar na interpretação dos ensaios de identificação das tintas, foram realizados, testes complementares. Para analisar os resultados obtidos nos ensaios com  $H_2SO_4$  no papel de filtro, adicionaram-se as raspas de tintas em contato com o ácido num vidro de relógio e deixou a amostra em repouso, para verificar a coloração do produto formado pela reação da tinta com o  $H_2SO_4$  sem a presença da celulose do papel de filtro e avaliaram-se os resultados. Ainda para o ensaio com o ácido sulfúrico, analisou-se a influência da raspagem não eficiente no resultado do teste, verificando a influência de resquícios das tintas intermediárias ou de fundo. Para o ensaio de solubilidade ao tolueno e metiletilcetona, avaliou se a aplicação da amostra de tinta epóxi alcatrão de hulha na aula experimental seria conveniente ou não.

#### **4.4.6 Espectroscopia no infravermelho**

Utilizaram-se as amostras de películas de tinta de acabamento aplicadas na aula experimental, para realizar a técnica de espectroscopia de absorção no infravermelho, que é a técnica de identificação de tintas comumente realizada pelo laboratório de química do Cepel para identificar as resinas das tintas. Teve como objetivo armazenar no laboratório de corrosão os perfis do espectro dessas amostras estudadas, a fim de auxiliar na construção de um banco de dados de espectros de amostras de películas de tintas padrões, para auxiliar na futura identificação de películas de tintas desconhecidas recebidas de trabalhos em campo. Nesta análise utilizou-se a película da tinta, ou seja, nos resultados dos espectros não haverá apenas a resina da amostra, como normalmente é realizado no laboratório de química do Cepel para análise de tintas líquidas, após a correta extração da resina por solvente orgânico.

A espectroscopia estuda a interação da matéria com a radiação eletromagnética. A absorção eletromagnética pode ocorrer devido a transições eletrônicas entre orbitais atômicos ou moleculares, ou a mudanças de estados rotacionais ou vibracionais das moléculas. Devido a estas duas últimas transições, na região do infravermelho ocorrem absorções e, para o estado condensado as rotacionais podem ser negligenciadas por conta das intensidades serem muito baixas. (Amaya, 1999)

A região do infravermelho pode ser ainda dividida em três sub-regiões distintas: o infravermelho distante, o infravermelho próximo (NIR, *Near Infrared*), que compreende a radiação com números de onda entre 4.000 e 15.000  $\text{cm}^{-1}$  e o infravermelho médio (MIR – *Mid Infrared*), entre 200 e 4.000  $\text{cm}^{-1}$ . Para identificar as resinas estudadas neste trabalho utilizou-se o MIR que é uma técnica com boa aplicação na caracterização de compostos orgânicos, visto que cada ligação característica de um grupo funcional apresenta uma banda de vibração em uma frequência específica (Amaya, 1999).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 RESULTADOS DOS TESTES DE COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS ANTICORROSIVAS (NM-MN-SMN-003): IDENTIFICAÇÃO DE TINTAS DE ACABAMENTO**

Para o desenvolvimento da aula experimental foi necessário não apenas propor o roteiro dos procedimentos adaptado com os ensaios existentes na Norma Eletrobras NE 005, mas testar todos os ensaios previamente, simulando a execução dos mesmos pelos alunos durante a aula experimental, bem como otimizar etapas que pudessem estender o tempo da execução do ensaio durante a aula. Com isso foi possível observar as possíveis dificuldades existentes e pôde-se propor medidas para reduzi-las. Verificou-se, desta forma, quais amostras seriam aplicadas na aula, por exemplo, inicialmente pretendia-se disponibilizar a tinta epóxi alcatrão de hulha para ser identificada pelos alunos, contudo observou-se que esta tinta não teria uma boa aplicação para a aula experimental, visto que a sua cor escura atrapalhou na identificação do tom violeta para o teste com ácido sulfúrico. Assim como observou-

se que esta amostra apresentou gizamento em sua superfície, dificultando a realização do teste de solubilidade em tolueno ou MEC.

Para auxiliar na interpretação do ensaio com o  $H_2SO_4$ , realizou-se o ensaio com a ausência do papel de filtro, para avaliar a sua influência no resultado, avaliou-se também a influência da raspagem da película da amostra na correta identificação da tinta.

### 5.1.1 Teste de solubilidade

O ensaio de solubilidade será positivo quando a película seca for solubilizada ao friccionar o algodão embebido de solvente, até que a camada anterior do esquema de pintura ou o próprio substrato fiquem expostos. Caso contrário, o teste será negativo. Os resultados do ensaio foram positivos para as tintas de borracha clorada Figura 5.1(A), e acrílica, Figura 5.1(B). Os resultados foram negativos para as tintas epóxi, Figuras 5.1(C) e (D), para a alquídica, Figura 5.1 (E), e para a poliuretano, Figura 5.1(F).

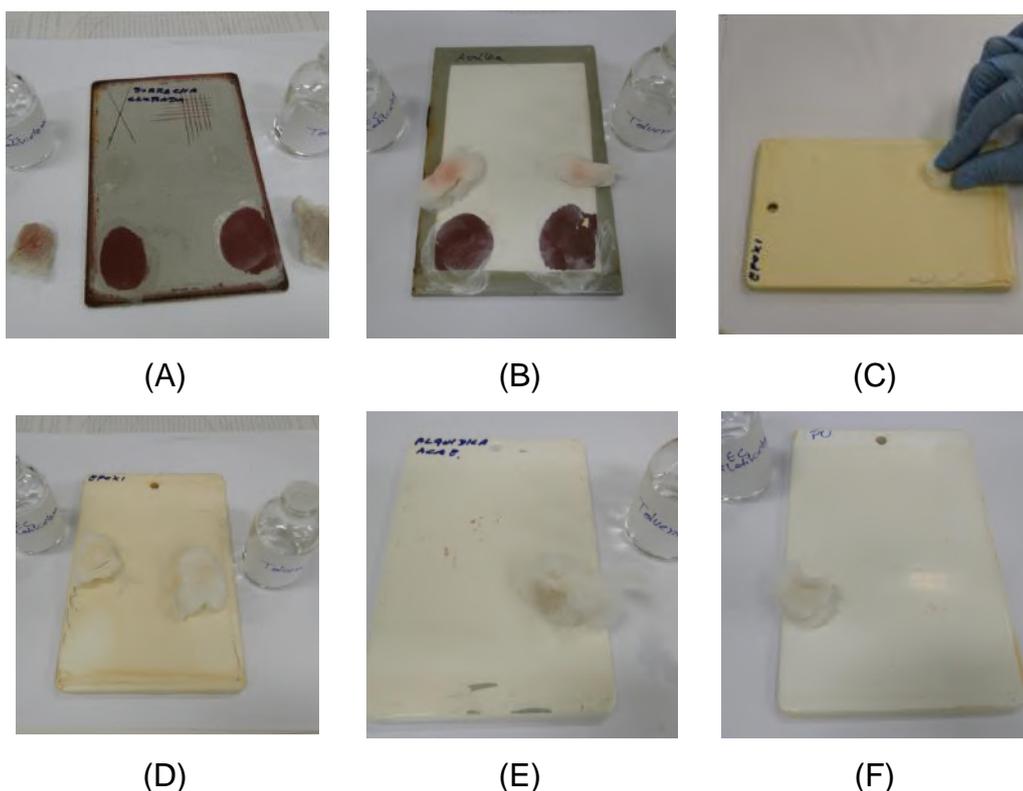


Figura 5.1. Resultados dos testes de solubilidade para as amostras analisadas. Positivos para as amostras de borracha clorada (A) e acrílica (B). Em (C) e (D) negativo para epóxi e paras as tintas alquídica (E) e poliuretano (F).

As tintas borracha clorada e acrílica são solúveis ao tolueno e ao MEC, porque a formação de suas películas ocorre somente pela evaporação do solvente, possuindo sensibilidade a seus solventes (NUNES, LOBO, 1990).

### 5.1.2 Teste de chama (teste de Beilstein)

O teste de chama será positivo para a detecção da amostra de borracha clorada, indicando uma chama de cor verde, conforme ilustrado na Figura 5.2. A chama verde é característica do íon cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) proveniente do  $\text{CuCl}_2$  pela queima, indicando a presença de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) proveniente da decomposição da resina clorada.

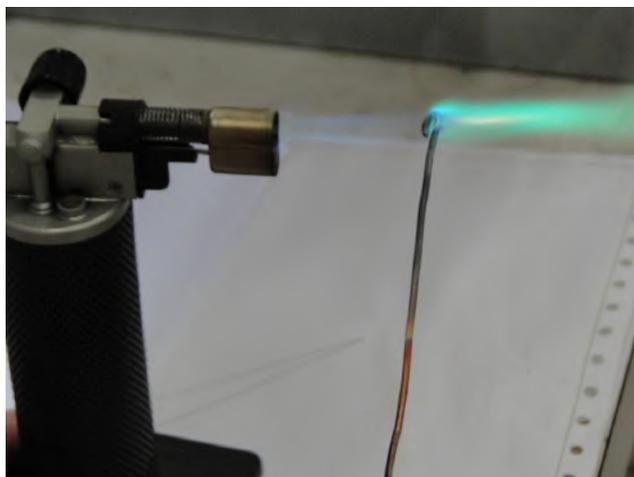


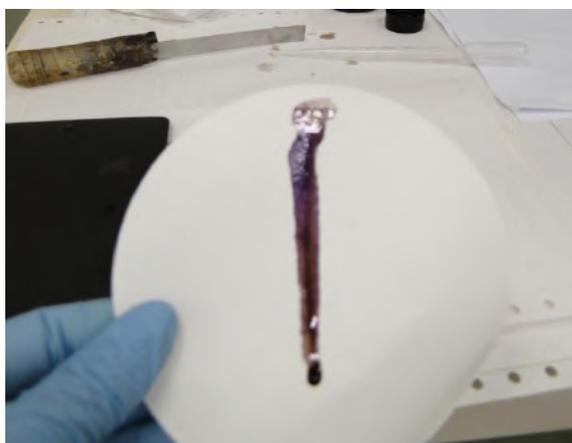
Figura 5.2 - Teste de chama positivo, com coloração verde da chama ( $\text{Cu}^{2+}$ ).

A origem das cores geradas pela presença de metais nas chamas está na estrutura eletrônica dos átomos, que durante a combustão há uma liberação de energia, de forma que os elétrons externos dos átomos dos metais são promovidos a estados excitados, que irão retornar ao seu estado eletrônico inicial liberando a energia excedente na forma de luz (CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR A DISTÂNCIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2016). A cor (ou os comprimentos de onda) da luz emitida depende da estrutura eletrônica do átomo (FILGUEIRAS, 1996). Assim, a cor verde é obtida a partir da queima de sais de cobre.

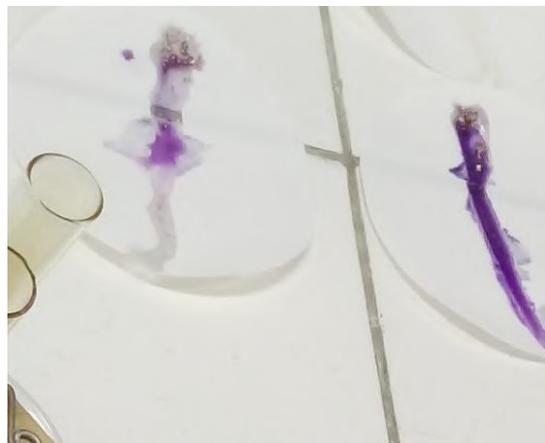
### 5.1.3 Teste com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado

O teste com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado será positivo para a amostra de tinta epóxi, e o resultado é característico o aparecimento da coloração violeta no papel de filtro, que indicará que a tinta analisada possui resina epóxi.

O resultado é positivo para as amostras de tinta de acabamento epóxi e epóxi com alcatrão de hulha. O alcatrão de hulha presente na tinta dificulta a sua identificação, (Figura 5.3(A)), tornando o roxo mais escuro. Na Figura 5.3(B) observou-se uma cor violeta mais nítida para a tinta epóxi isenta de que a tinta alcatrão de hulha.



(A)



(B)

Figura 5.3- Resultado positivo para o ensaio com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Em (A), para tinta epóxi com alcatrão de hulha e, em (B), para tinta epóxi isenta de alcatrão de hulha.

O ensaio é negativo para as tintas acrílica, poliuretano e alquídica, Figuras 5.4(A), (B) e (C), respectivamente.

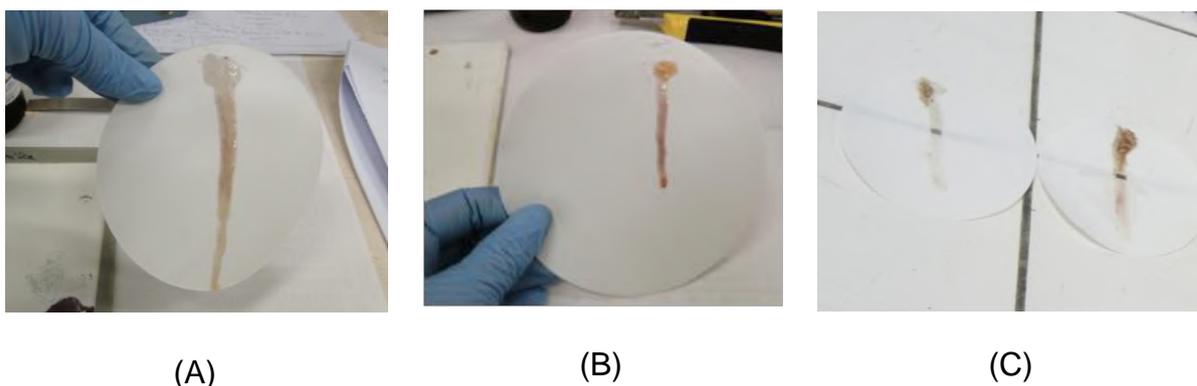


Figura 5.4 - Resultado negativo para o ensaio com  $H_2SO_4$  concentrado. Em (A), tinta acrílica, em (B) tinta de poliuretano, em (C) tinta alquídica.

Este ensaio prático de detecção da resina epóxi é definido pela Norma PETROBRAS N 2612. O produto resultante da reação da resina epóxi com o  $H_2SO_4$  concentrado apresenta uma coloração violeta quando em contato com o papel de filtro, a oxidação do papel de filtro com o ácido apresenta uma tonalidade alaranjada (Ver o ensaio em branco nos ensaios complementares, discutido na Sessão 5.1.5). Conforme discutido na Sessão 3.6.3, sugere-se explicar a reação da resina epóxi com o ácido sulfúrico concentrado, pelo fato que um epóxido pode sofrer reação de abertura do anel catalisada por ácido aquoso (McMurry, 2011). Contudo seria necessário um estudo mais aprofundado, bem como a aplicação de técnicas complementares de identificação do produto formado, para dar uma explicação exata da reação que ocorre entre a resina, o  $H_2SO_4$  concentrado e o papel de filtro, o que não é o objetivo deste trabalho que visa à identificação prática das tintas estudadas.

#### 5.1.4 Ensaio de diferenciação das tintas alquídicas e poliuretano

O primeiro ensaio de identificação da tinta de acabamento em alquídica ou em poliuretano é realizado avaliando a resistência química da tinta em contato com uma solução diluída de NaOH.

O resultado será positivo se a película se deteriorar em contato com a solução alcalina e. Neste caso, a tinta em análise foi a alquídica, Figura 5.5(A), indicando a ocorrência da reação de saponificação da resina com a solução alcalina.

O resultado negativo foi para uma tinta de poliuretano, Figura 5.5(B), segundo a sequência analítica do fluxograma da Figura 4.1. A tinta poliuretano possui maior resistência química ao meio alcalino avaliado.

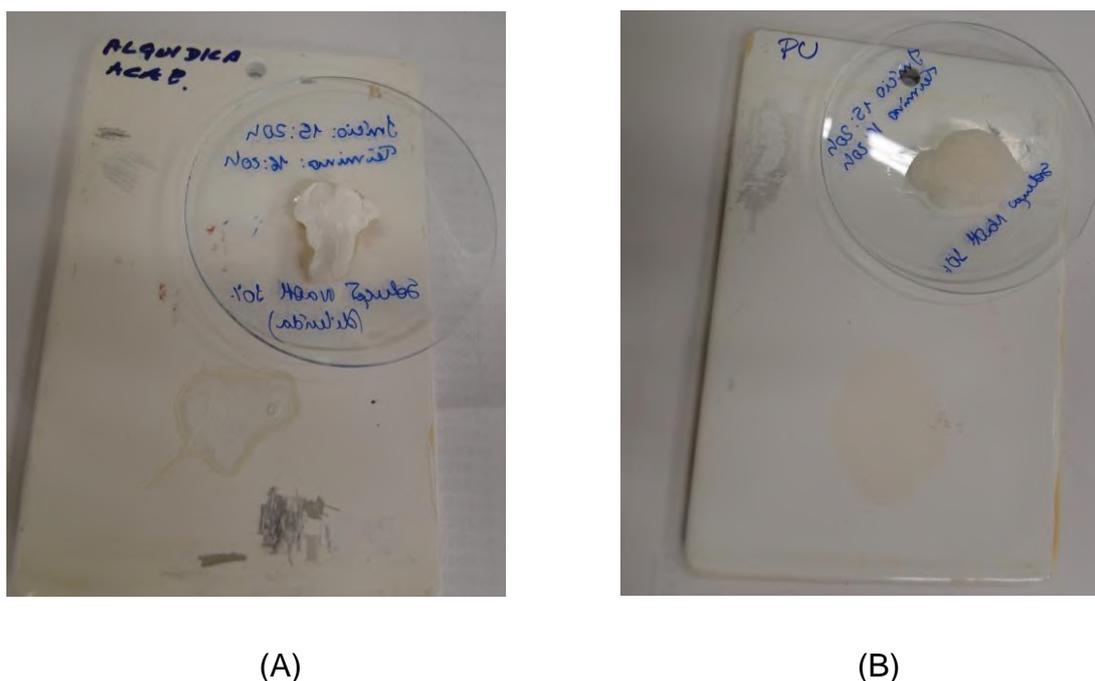


Figura 5.5 - Resultado para o ensaio de resistência química ao NaOH. Em (A), positivo para tinta alquídica, e, em (B), negativo para tinta de poliuretano.

Outra forma de identificar esta resina alquídica é através da presença de compostos ftálicos, que podem ser identificados através da decomposição térmica da película da tinta, pelo teste de pirólise. Visto que a resina de poliéster é obtida normalmente pela reação entre um poliálcool e um poliácido, sendo o poliácido mais utilizado o ácido ftálico, na forma de anidrido ftálico (NUNES, LOBO 1990). O teste de pirólise será positivo se após o tubo esfriar a temperatura ambiente, houver a presença de cristais pontiagudos na parede interna do tubo, Figura 5.6(A). Para o resultado negativo identificou-se a tinta de poliuretano, Figura 5.6(B).



(A)



(B)

Figura 5.6 - Resultado para teste de pirólise para identificação das tintas alquídica (A) e poliuretano (B).

### 5.1.5 Testes complementares

Para analisar os resultados obtidos nos ensaios com  $H_2SO_4$  concentrado no papel de filtro, avaliaram os ensaios na ausência do papel de filtro, para isso as amostras de tinta foram testadas com o ácido sulfúrico no vidro de relógio, a fim de avaliar a influência da celulose, bem como outros constituintes do papel de filtro, no resultado. Verificou-se que apenas em contato com o papel de filtro a reação de detecção da resina epóxi confere a coloração violeta.

Conforme observado na Figura 5.7, a película de tinta epóxi não apresentou coloração violeta quando a reação foi realizada no vidro de relógio. Apenas a resina epóxi mudou de coloração, de branco para alaranjado, quando em contato com o ácido, indicando a sua maior reatividade com o  $H_2SO_4$ . Enquanto que, as tintas alquídica e poliuretano permaneceram com a cor inalterada.

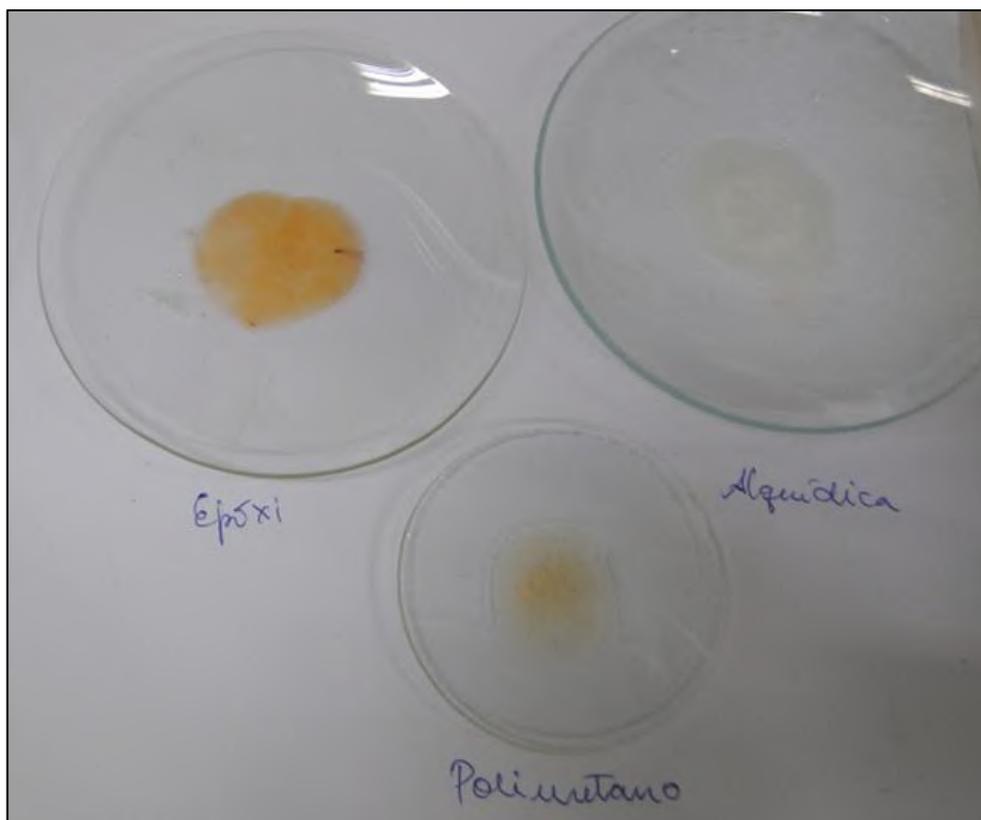


Figura 5.7 - Resultado do ensaio com  $H_2SO_4$  concentrado no vidro de relógio para as tintas de acabamento epóxi, alquídica e poliuretano.

Para o esquema de pintura em que a borracha clorada era a tinta de acabamento, testou-se a respectiva tinta de fundo, separadamente, com  $H_2SO_4$  concentrado. Porque o pigmento da tinta de fundo estava influenciando na identificação do resultado para a tinta de borracha clorada (Figura 5.8).

Observou-se que apesar da tinta de fundo não ser epóxi, a presença de seus resquícios pode influenciar na detecção da cor do ensaio, por causa do seu pigmento, Figuras 5.8(A) e (B).



Figura 5.8 - Ensaio complementares para testar películas de tinta com  $H_2SO_4$  concentrado. Em (A) tinta de fundo para esquema com borracha clorada para a tinta de acabamento. Em (B) teste falso positivo com  $H_2SO_4$  concentrado.

Testou-se a tinta de acabamento acrílica, para um esquema de pintura contendo a tinta de fundo vermelha, com uma raspagem não efetiva Figura 5.9(A) e uma raspagem efetiva, Figura 5.9 (B).

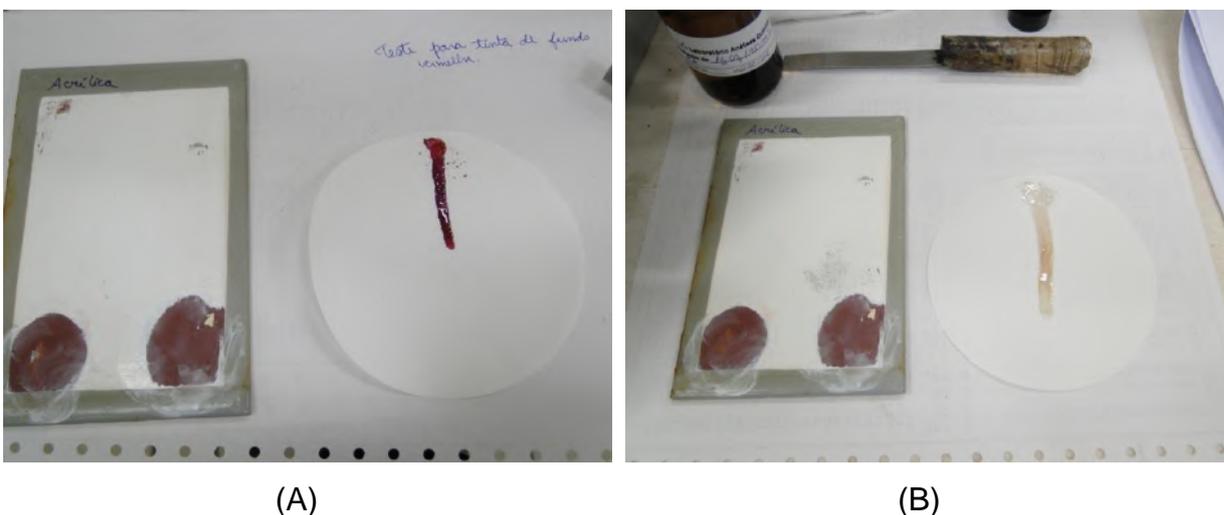
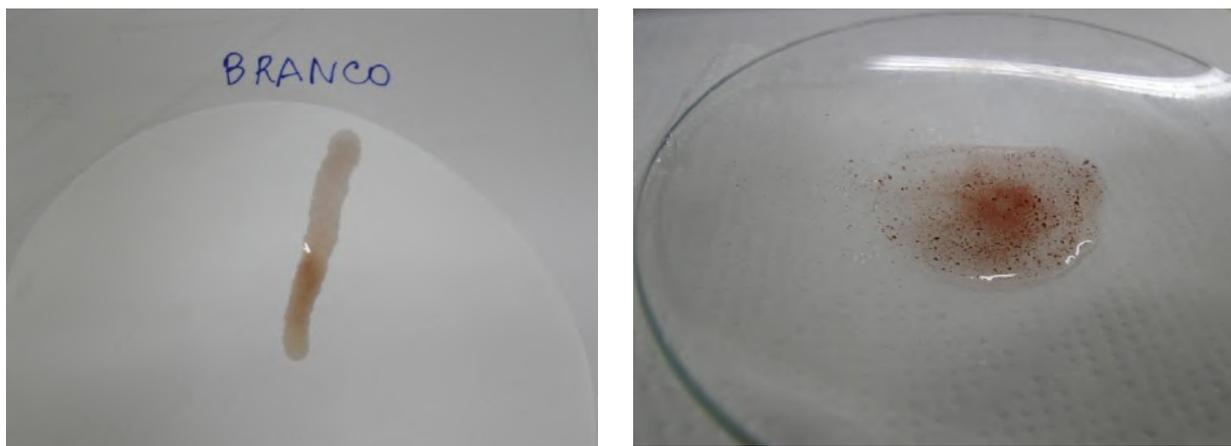


Figura 5.9 - Ensaio complementares com  $H_2SO_4$  concentrado para testar influência da tinta de fundo na identificação da tinta de acabamento acrílica. Em (A) resultado positivo, devido a raspagem não efetiva. Em (B) resultado negativo devido a raspagem efetiva.

A tonalidade vinho da Figura 5.9(A) é proveniente do pigmento vermelho da tinta de fundo. O ensaio em branco, Figura 5.10(A) demonstrou uma tonalidade alaranjada. Já a tinta de fundo vermelha na placa de vidro com o mesmo ácido não apresentou alteração da sua cor, Figura 5.11(B).



(A)

(B)

Figura 5.10 - Ensaio complementar para testar películas de tinta com  $H_2SO_4$  concentrado. Em (A) teste branco no papel de filtro. Em (B) teste da tinta de fundo vermelha com  $H_2SO_4$  em vidro relógio, não houve alteração da cor.

Para o teste complementar de solubilidade, analisou-se a tinta epóxi alcatrão de hulha. A tinta *coal-tar epóxi* não é solúvel aos solventes tolueno e MEC, porém o seu ensaio de solubilidade que deve dar negativo, teve a presença de mancha da película no algodão, (Figura 5.11(A)), devido à presença de gizamento neste revestimento Figura 5.11 (B). Isto ocorreu porque essas amostras foram utilizadas previamente em ensaios de câmara de exposição a raios UVA e UVB e devido à natureza desta resina betuminosa, ocorreu a degradação da superfície da película. Para evitar problemas de identificação durante a aula, a tinta epóxi alcatrão de hulha não foi utilizada na aula experimental.



Figura 5.11 - Teste de solubilidade para tinta epóxi alcatrão de hulha e identificação de gizamento em sua superfície. Em (A) teste aos solventes MEC e tolueno. Em (B), confirmação da presença de gizamento da tinta, usando água destilada.

#### 5.1.6 Espectroscopia no infravermelho

Para os resultados do ensaio de espectroscopia no infravermelho, realizado pelo laboratório de química do Cepel para as amostras de tintas utilizadas neste trabalho, com o intuito de contribuir para a construção de um banco dados de espectros de tintas padrões no laboratório de corrosão do Cepel, realizou-se um pequeno apanhado das bandas e picos mais frequentes num espectro de IV obtido para uma tinta (revestimento orgânico). Para distinguir as tintas entre si devemos procurar as pequenas diferenças entre os seus veículos, e é conveniente saber a priori quais os tipos de ligações que os distinguem. Por isso é importante ter um banco de dados de espectros de amostras padrões, para auxiliar na identificação de amostras de tintas quando as mesmas forem desconhecidas. Como neste trabalho as amostras são conhecidas, utilizaremos as discussões realizadas na sessão 3.6 sobre a natureza das tintas estudadas, para nos auxiliar na interpretação dos espectros fornecidos pelo laboratório de química do Cepel.

A Figura 5.12 ilustra os espectros vibracionais no infravermelho relativos às amostras de resina das tintas analisadas, identificadas como Amostra 1 (borracha

clorada), Amostra 2 (acrílica), Amostra 3 (alquídica), Amostra 4 (poliuretano) e Amostra 5 (epóxi).

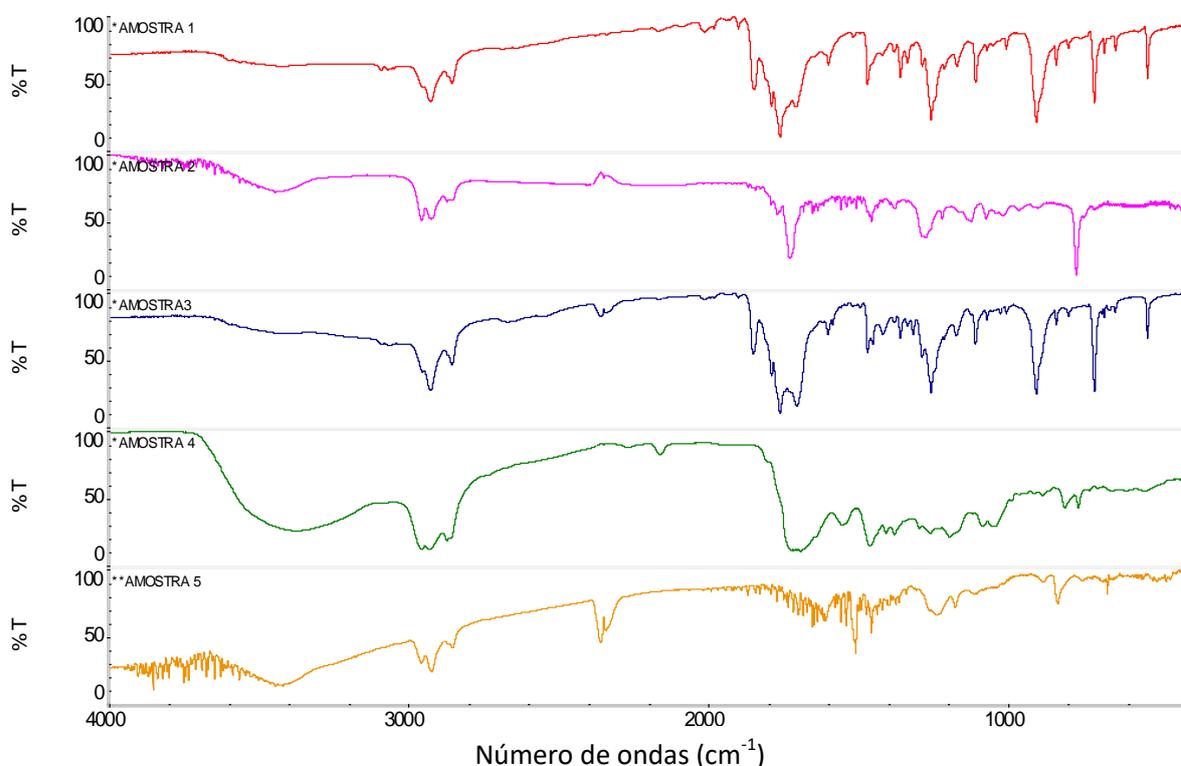


Figura 5.12 - Espectros vibracionais no infravermelho das amostras de tintas analisadas e utilizadas nos testes das aulas experimentais, fornecidos pelo laboratório de química do Cepel.

Ao interpretar o resultado dos espectros vibracionais no infravermelho representados na Figura 5.12, observamos que eles são formados por bandas semelhantes entre si. Compararam-se detalhadamente os espectros, identificando os picos característicos para cada tinta. Por exemplo, a presença de um pico atribuível à ligação C-Cl no espectro, compreendido no intervalo 800-600  $\text{cm}^{-1}$  ou 1.200-1.400  $\text{cm}^{-1}$  (SILVERSTEIN,2000) é característico de uma tinta vinílica, ou uma tinta borracha clorada. Este pico está presente, para a Amostra 1 cuja tinta de acabamento é a borracha clorada.

Ao interpretar o espectro da Amostra 2, tinta acrílica, identificamos as bandas das seguintes faixas e seus respectivos grupos correspondentes: 1.300 a 1.050  $\text{cm}^{-1}$

do grupo C-O de ésteres; 1.750 a 1.740  $\text{cm}^{-1}$  do grupo C=O de ésteres; 1.390 a 1.370  $\text{cm}^{-1}$  do grupo  $\text{CH}_3$  ( para uma deformação angular, levando em consideração que em caso de dimetil geminal, a banda aparece como um duplete); 1.470 a 1.430  $\text{cm}^{-1}$  para o grupo  $\text{CH}_2$  (característico de uma deformação angular de  $-(\text{CH}_2)_n-$  visto que, para  $n > 3$  a banda aparece na região por volta de 720); 1.420  $\text{cm}^{-1}$  para o grupamento  $\text{CH}_2$  adjacente a carbonila (para uma deformação angular) (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017). Para a interpretação do espectro da tinta acrílica, a levou-se em consideração que a presença das bandas atribuíveis às ligações C-O,  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2$  e C=O é característica de uma tinta composta pelo veículo formado por copolímeros estireno-acrílicos (MONTEIRO, 2003). Aplicando essas informações ao espectro da tinta acrílica, também consideramos a presença da banda da ligação  $-\text{NH}_2$ , pois, conforme foi discutido na Sessão 3.6.2, as resinas acrílicas são polímeros obtidos a partir de monômeros de ésteres dos ácidos acrílicos e metacrílicos a partir de esterificação (CYTED, 2002), sendo os polímeros poliacrilato e polimetacrilato os mais utilizados nas indústrias de tintas.

Utilizando as analogias aplicadas à interpretação dois primeiros espectros, para o da Amostra 3 de tinta alquídica, identificamos as bandas das seguintes faixas de comprimento de onda e seus respectivos grupos correspondentes: 1.750 a 1.740  $\text{cm}^{-1}$  para o grupo C=O de ésteres; 1.300 - 1.050  $\text{cm}^{-1}$  para o grupamento C-O de ésteres, visto que para ésteres saturados a banda característica do C-O é compreendida entre 1.300 e 1.050  $\text{cm}^{-1}$ , já para ésteres insaturados e aromáticos é característico a presença de duas bandas nos intervalos 1.300 a 1.250  $\text{cm}^{-1}$  e 1.200 a 1.050  $\text{cm}^{-1}$ , cuja absorção é sujeita a efeitos de conjugação e de efeito indutivo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017). Na sessão 3.6.5, foram discutidas as características das resinas alquídicas que são poliésteres provenientes da reação entre alcoóis poliidrícos com poliácidos ou seus anidridos modificados com ácidos graxos livres ou contidos em óleos vegetais (GENTIL, 2003).

Ao analisar a estrutura de um poliuretano, referente a uma tinta poliuretânica, poderíamos identificar em seu espectro as bandas características do grupamento C-N de cadeias alifáticas, com o intervalo de 1.280 a 1.180  $\text{cm}^{-1}$ , bem como no intervalo 1.275 a 1.020  $\text{cm}^{-1}$  característico do grupamento C-O de ésteres. Porém no espectro analisado da Amostra 4 os picos não estão bem definidos. No entanto, é

necessário considerar que diferentes tipos de poliuretanos podem ser produzidos de acordo com a natureza do álcool polimérico aplicado (MCMURRY, 2011). Contudo, no histórico de pintura das amostras fornecidas pelo laboratório de corrosão do Cepel, não havia informações a respeito da natureza do poliuretano aplicado como tinta de acabamento. Então, ao interpretar o espectro desta amostra, considerou-se como o pico diferencial, a presença da banda a larga na intervalo de 3.400 a 3.300  $\text{cm}^{-1}$  que representa o grupo  $-\text{NH}$  (MONTEIRO,2007) presente na estrutura do copolímero uretano (GENTIL, 2003).

No espectro da amostra 5, podemos identificar a presença das bandas características de um anel benzeno, também compreendido no intervalo 800 a 600  $\text{cm}^{-1}$  característicos do grupo estireno ou ainda das tintas epoxídicas (SILVERSTEIN, 2000), mas o que caracteriza o espectro da tinta epóxi é a ausência das bandas características do grupamento  $\text{C}=\text{O}$ , compreendido entre 1.700 a 1.800  $\text{cm}^{-1}$  (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017).

A Figura 5.13 ilustra algumas bandas de absorção típicas de grupos funcionais, em número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) ou comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ).

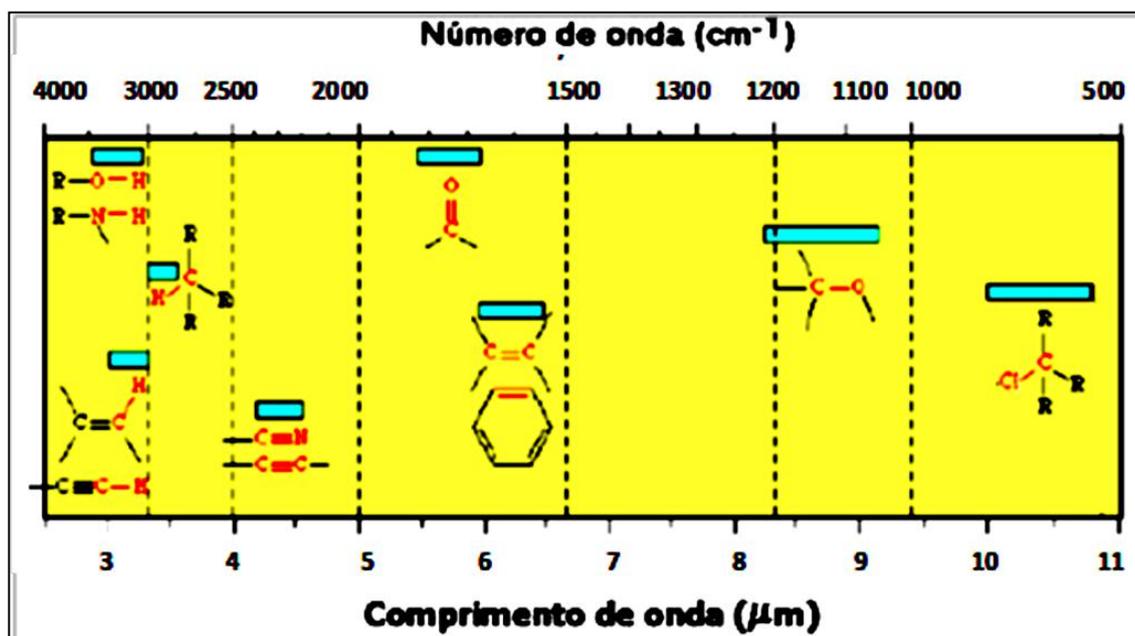


Figura 5.13- Exemplo de algumas regiões de um espectro de IV características de certo tipo de ligações. (MONTEIRO,2007).

## 5.2 AULA EXPERIMENTAL

A turma de abril de 2016 foi composta por catorze alunos, totalizando quatro grupos de três alunos e um de dois alunos. A aula prática foi realizada sob supervisão e orientação da instrutora e teve duração de 1 h e 40 minutos, os registros fotográficos da aula estão apresentados na Figura 5.14.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 5.14- Registros da aula experimental aplicada à turma de abril de 2016 do curso oferecido pelo laboratório de corrosão do Cepel. (A) Aula teórica; (B) Bancada organizada com os *kits* práticos para aula prática em laboratório. (C) e (D) Alunos durante aula experimental no laboratório com a instrutora.

Os alunos identificaram as amostras corretamente e discutiram os resultados, havendo troca de experiência entre os grupos. O resultado dos testes estão

apresentados na Tabela 5.1. Realizou-se, também, a avaliação de compatibilidade entre as tintas identificadas na aula e as tintas novas a serem escolhida para a manutenção da pintura antiga, com o uso da Tabela 3.3 fornecida pela Norma Eletrobrás NE 005. Remetendo aos conceitos abordados na aula teórica sobre compatibilidade entre tintas.

Cada tinta de acabamento estudada neste trabalho possui característica e aplicabilidade, discutidas no item 3.6, e isso será um fator importante na hora de escolher o esquema de pintura. De acordo com a Tabela 3.3, as tintas de acabamento alquídica e borracha clorada, são compatíveis com a tinta alquídica na pintura nova. Já a amostra de tinta epóxi é compatível com as tintas epóxi, poliuretano e epóxi alcatrão de hulha.

Foi discutido que, quando as tintas acrílica e poliuretano forem as tintas existente nos esquemas de pintura, sugere-se aplicar sobre elas uma tinta de mesma natureza.

Para a manutenção da tinta de acabamento em esquema de pintura antigo, conforme é sugerido pela Norma Eletrobras NE005, caso os ensaios de identificação da tinta de acabamento não possam ser realizados, sugere-se aplicar a tinta nova, numa pequena área, para verificar a compatibilidade entre as tintas num intervalo de 48 horas. Deve-se verificar se haverá enrugamento, amolecimento do revestimento existente, formação de bolhas, sangramento ou falta de aderência entre as camadas, como critério de aceitação ou de rejeição.

Tabela 5.1 - Resultado dos ensaios de identificação da tinta de acabamento.

Ensaio		Resultados				
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Teste de solubilidade		Solúvel	Solúvel	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel
Teste de chama		Positivo	Negativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Teste com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado		Não se aplica	Não se aplica	Negativo	Negativo	Positivo
Ensaio de diferenciação das tintas alquídicas e poliuretano	Teste de pirólise	Não se aplica	Não se aplica	Positivo	Negativo	Não se aplica
	Teste com solução NaOH 10% p/p ou m/v	Não se aplica	Não se aplica	Positivo	Negativo	Não se aplica

### 5.3 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS APÓS A AULA EXPERIMENTAL

Avaliou-se o desempenho da turma de abril de 2016 que participou da aula experimental durante o curso oferecido pelo Cepel e pode-se afirmar que 92,4% da turma atingiu uma pontuação maior ou igual à 7,0 pontos e o percentual de alunos que teve um baixo rendimento, com notas entre 5,0 e 5,9 pontos, foi de 7,7%, conforme pode ser observado por meio da Figura 5.15.

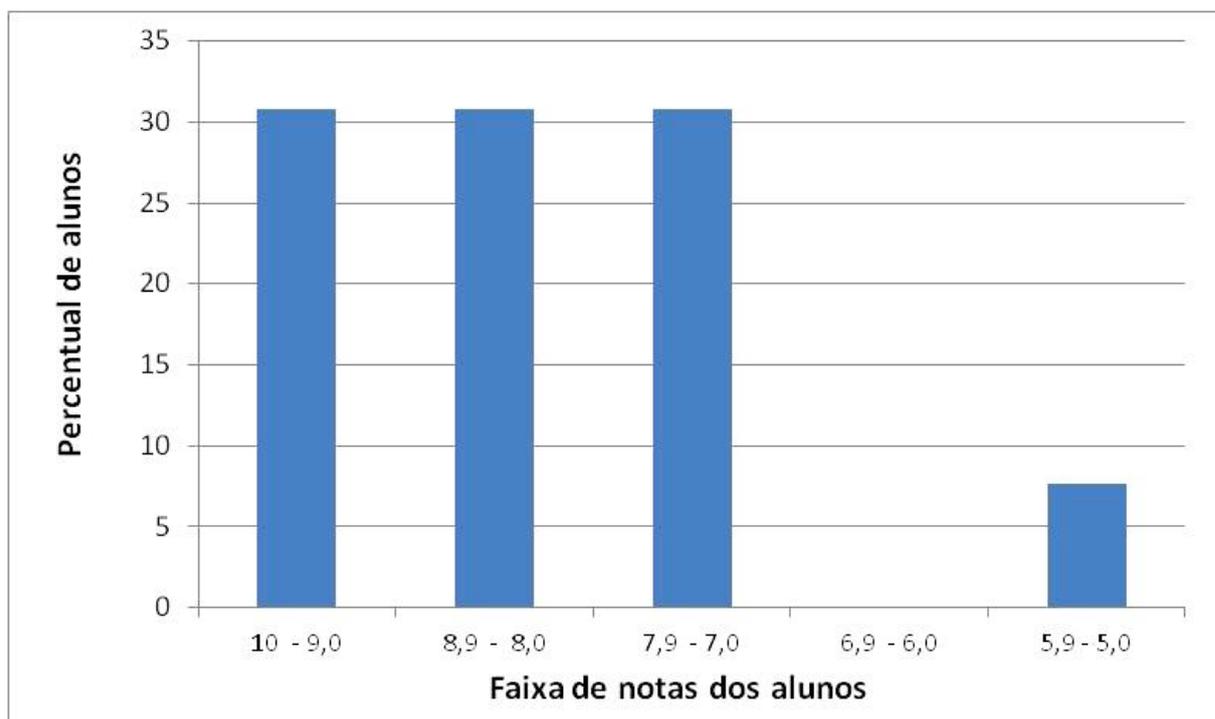


Figura 5.15 - Gráfico do percentual de alunos *versus* a faixa de notas dos alunos após a prova (turma do curso de abril de 2016).

Para a turma de junho que participou do curso de fundamentos de inspeção de pintura e não recebeu o treinamento com a aula experimental de compatibilidade entre tintas de acabamento. Verificou-se, que 71,4% da turma atingiu uma pontuação maior ou igual à 7,0 pontos e o percentual de alunos que teve um baixo rendimento, isto é, notas entre 5,0 e 5,9 pontos, foi de 14,3%. Conforme pode ser observado na Figura 5.16.



Figura 5.16- Gráfico do percentual de alunos *versus* a faixa de notas dos alunos após a prova (turma do curso de junho de 2016).

Comparou-se o desempenho da turma de abril de 2016 com a da turma de junho de 2016, e pode-se verificar que a turma de junho obteve um menor rendimento quando comparada à turma de abril, conforme está representado na Tabela 5.2. A média final foi de 8,15 para a turma de abril de 2016, e de 7,75 para a turma de junho de 2016.

Tabela 5.2. Comparação entre as notas finais e os parâmetros estatísticos das turmas de abril e junho

	Turma de abril (2016)	Turma de junho (2016)
Média	8,15	7,75
Desvio padrão	1,16	1,12
Variância	1,35	1,26

Comparou-se o percentual de alunos que teve um baixo rendimento isto é, notas entre 5,0 e 5,9 pontos, para ambas as turmas. De acordo com os dados

apresentados na Figura 5.16, verificou-se que a turma de junho de 2016 apresentou um rendimento menor, visto que 14,3% dos alunos apresentaram nota entre 5,0 e 5,9, já a turma de abril de 2016 esse percentual foi de 7,7%.

Observou-se que, apenas, a turma de abril de 2016 cuja média foi 8,15 alcançou pontuações acima de 9,0 quando comparada à turma de junho 2016, cuja a média foi de 7,75.

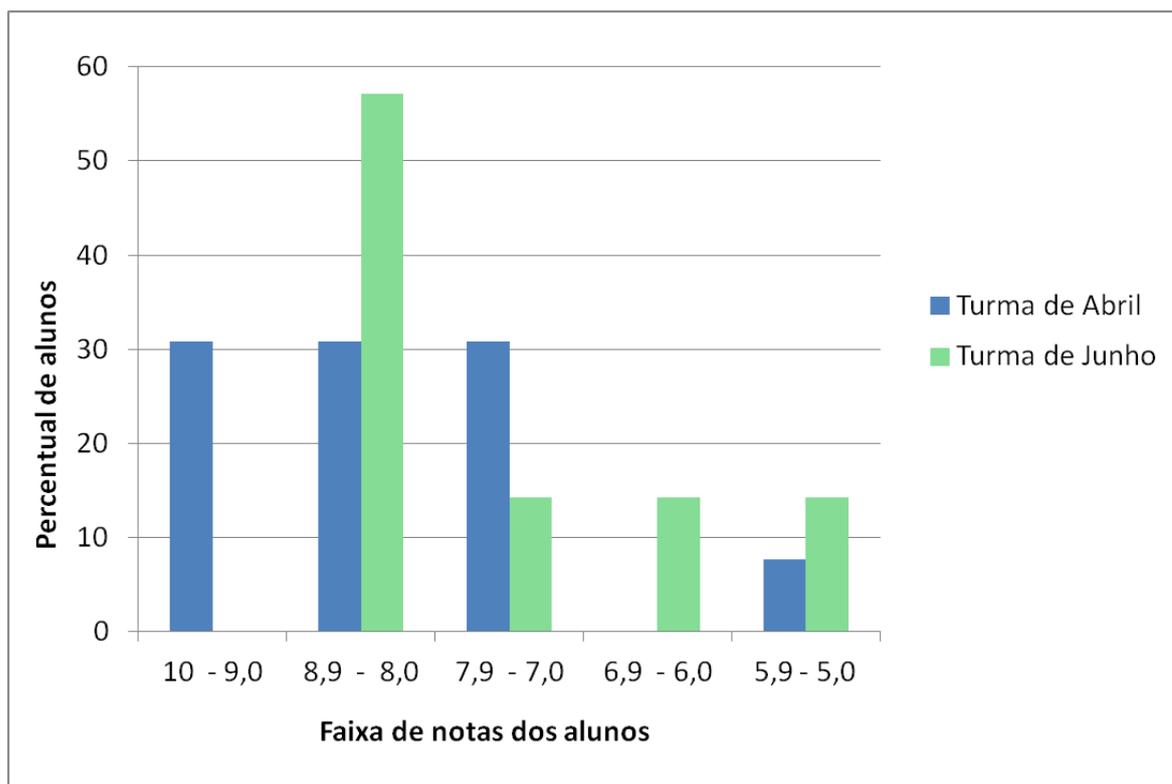
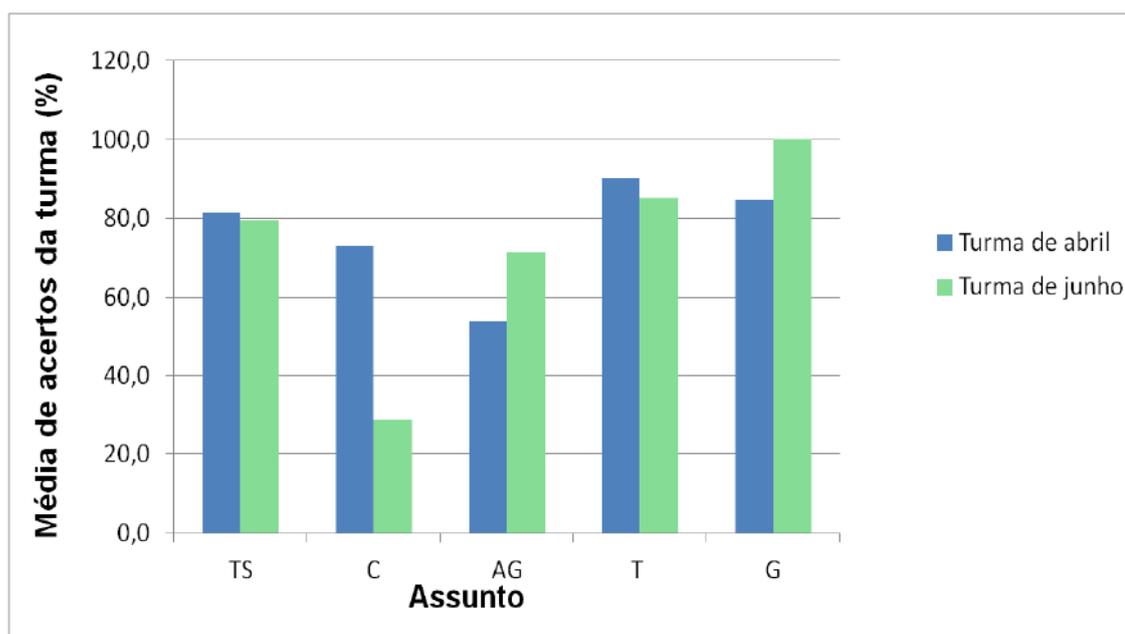


Figura 5.17 - Gráfico do percentual de alunos *versus* a faixa de notas dos alunos após a prova aplicada as turmas de abril de 2016, com aula experimental, e de junho de 2016, sem aula experimental.

Comparou-se o percentual de acertos das turmas por assunto abordado na prova, os assuntos abordados foram sobre tratamento de superfície de metais, corrosão, aço carbono, tintas e conhecimentos gerais em fundamentos de inspeção de pintura anticorrosiva e as médias percentuais e seus erros médios por assunto podem ser observados por meio da Figura 5.18.

De acordo com os resultados, observou-se que a turma de abril de 2016 apresentou maior média de acertos em questões sobre tintas e menor percentual de

acerto em questões sobre aço galvanizado. Já, a turma de junho de 2016 apresentou maior média de acertos em questões sobre conhecimentos gerais, e menor percentual de acerto em questões sobre aço galvanizado. Em relação aos conhecimentos obtidos sobre tintas, a turma de abril de 2016 apresentou mais acertos comparada à turma de junho de 2016



TS: Tratamento de Superfície; C: Corrosão; AG: Aço Galvanizado; T: Tintas; G: Conhecimentos Gerais

Figura 5.18 - Gráfico do percentual da média de acertos da turma *versus* assunto pós a prova aplicada as turmas de abril de 2016, com aula experimental, e junho de 2016, sem aula experimental.

Um questionário (Apêndice 2) foi aplicado a turma de abril de 2016 com o objetivo de identificar se a turma conseguiu aplicar os conhecimentos aprendidos no curso na aula experimental, se eles conseguiram identificar alguma dificuldade na realização da prática e se o tema abordado se aproxima da realidade dos profissionais. Também, levantaram-se dados de satisfação da turma em relação à aula, bem como, se eles possuíam conhecimento do tema, ou se o mesmo era aplicado em sua rotina profissional. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Dados obtidos por meio do Questionário (Apêndice 2) aplicado à turma de abril de 2016.

<b>Casos pesquisados na turma de abril de 2016</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
Assistiram ou já participaram de algum experimento de química anteriormente.	57%	43%
Gostaram da aula experimental.	100%	0%
Acharam que os experimentos os ajudaram a entender o conteúdo teórico abordado no durante o curso.	100%	0%
Possuíam o conhecimento prévio de que as diversas tintas industriais apresentam diferenças na composição química e na aplicação.	71%	29%
O tema compatibilidade entre tintas de acabamento faz parte do seu dia a dia.	57%	43%
Conseguiram associar o conteúdo apresentado pelo instrutor com seu dia a dia.	86%	7%
Identificaram que a aula experimental será útil para ser aplicada no seu dia a dia.	93%	7%
Tiveram acesso ao assunto abordado pelo instrutor previamente.	29%	71%
Julgam ser interessante já ter conhecimento sobre este assunto na época da escola na disciplina de química.	64%	14%

De acordo com os resultados, 57% dos alunos da turma já haviam participado de algum experimento de química anteriormente, 14% participaram durante o seu curso de nível superior, 29% no ensino médio ou técnico e 14% teve a oportunidade de participar de uma aula experimental de química, apenas na empresa em que trabalham, destacando as subsidiárias da Eletrobras, Furnas e Cepel.

Quanto ao fato dos alunos terem tido acesso ao assunto abordado pelo instrutor na aula experimental, apenas 29% dos alunos afirmaram que sim. Dos 71% que não tiveram acesso ao assunto apresentado na aula experimental, 64%

gostariam que o assunto tivesse sido abordado na escola durante as aulas de química, segundo as justificativas detalhadas:

- (i) “Oportunidade de ensinar experiências novas aos alunos”;
- (ii) “Pôr em prática os conhecimentos teóricos de química”;
- (iii) “Terem mais conhecimento básicos no assunto abordado”;
- (iv) “Melhorar o entendimento dos fenômenos da natureza”;
- (v) “Para adquirir conhecimento”;
- (vi) “Por ser um tema muito relevante para sua vida profissional”;
- (vii) “Pois quanto mais informações, melhor será a escolha da carreira profissional do indivíduo”.

Sobre a pergunta referente à identificação do objetivo da prática:

- (a) 50% dos alunos marcaram a opção correta, isto é, “Identificar a compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo”.
- (b) 21% dos alunos além da opção correta, também entendeu por objetivo da aula experimental “Analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico” marcando as duas opções, e outros 21% da turma marcou apenas esta opção.

Apesar da turma ter insistido nesta opção de resposta, ela não está correta. Porque na prática, apesar da resina ser um dos componentes da tinta a ser identificado, não foram identificados todos os componentes da tinta, nem mesmo a sua composição, ou seja a sua formulação.

- (c) 7% dos alunos além de marcar a opção correta marcou a opção “Avaliar o tratamento de superfície metálica para pintura”, verificando que houve um equívoco entre o tratamento da superfície metálica para receber o esquema de pintura e a manutenção do esquema de pintura antigo para receber a repintura.

À turma de dezembro de 2016 foi aplicado um questionário semelhante (Apêndice 2), no entanto ele foi direcionado para o perfil da turma que era de alunos de graduação. O resultado da avaliação está apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Dados obtidos por meio do Questionário (Apêndice 2) aplicado a turma de graduação da UFRJ na disciplina de Química Geral Experimental.

<b>Casos pesquisados na turma da UFRJ em dezembro de 2016</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
Você saberia distinguir a diferença na composição e na aplicação das diversas tintas industriais?	70%	30%
O tema compatibilidade entre tintas de acabamento faz parte do seu dia a dia, isto é, do convívio em sua vida profissional ou acadêmica?	45%	55%
O experimento ajudou você a entender o conteúdo teórico sobre corrosão abordado nesta disciplina?	100%	-
Você conseguiu associar a matéria explicada pelo instrutor nesta aula experimental com alguma situação vivida em seu cotidiano?	95%	5%
Você gostou da aula experimental?	100%	-
Sobre o assunto abordado “Compatibilidade entre tintas de proteção anticorrosiva”, você considera interessante e relevante aprender este assunto no ensino médio ao estudar química?	65%	35%
Sobre aprender este assunto em uma disciplina na graduação, você considera relevante?	95%	5%

Sobre a pergunta relacionada ao objetivo da prática, que era identificar compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo, 50% da turma marcou a opção correta, 5% não respondeu, 25% marcou que o objetivo da aula experimental era “Analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico”, 5% dos alunos marcaram que o objetivo era avaliar o tratamento de superfície metálica para pintura e 10 % marcaram todas as opções.

Comparou-se a avaliação do objetivo da aula para as duas turmas que participaram da aula experimental, a do curso do Cepel de abril de 2016 e a de universitários da UFRJ, o resultado está apresentado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Comparação da avaliação do objetivo da aula experimental entre as duas turmas abril de 2016 (curso Cepel) e dezembro de 2016 (UFRJ).

<b>Referente à aula experimental de química, o que você entendeu ser o objetivo da prática?</b>	<b>Turma abril de 2016 Cepel</b>	<b>Turma dezembro de 2016 UFRJ</b>
Identificar corrosão em metais.	-	-
Identificar compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo.	50%	50%
Analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico.	21%	20%
Avaliar o tratamento de superfície metálica para pintura.	-	5%
Marcaram mais de uma opção além da correta.	29%	10%
Marcaram todas as opções.	-	10%
Não responderam.	-	5%

Observou-se que as turmas avaliaram de maneira semelhante o objetivo da aula experimental e que a turma que participou do experimento, executando os testes apresentou menor dúvida em relação ao objetivo da prática. Uma vez que a maioria das respostas foram a resposta correta, isto é, Identificar compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo, e, também, tiveram resultados na segunda resposta mais relevante, analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico.

Diante das respostas incorretas em relação ao objetivo da prática, identificação de tintas desconhecidas, pela natureza de sua resina, a fim de avaliar a compatibilidade entre tintas é importante ressaltar que durante a aula, foi abordado a importância de conhecer o histórico do esquema de pintura. Para que seja possível a manutenção do mesmo, e esclareceu-se que quando a pintura é desconhecida há possibilidade de identifica-la a partir dos testes práticos.

Explicou-se, também, que a resina é um dos constituintes da tinta, que confere as suas propriedades físico-químicas. E que a tinta é composta além da resina, por outros componentes responsáveis por propriedades importantes, como a proteção anticorrosiva e cor devido aos pigmentos, e a redução de viscosidade para a aplicação, devido à presença dos solventes (NUNES, LOBO 1990).

## **6 CONCLUSÃO**

Diante do gasto por parte das indústrias, como as do setor elétrico, em recuperação de materiais metálicos, seja em estruturas ou equipamentos, por conta de corrosão, atenta-nos à necessidade de conscientizar a importância da aplicação do conhecimento químico nas boas práticas de conservação dos materiais metálicos, por meio do uso de tintas. Havendo assim, a necessidade constante de treinamento profissional para a equipe envolvida na manutenção do setor elétrico.

Nesta visão, o presente trabalho preocupou-se em realizar a abordagem do problema existente de ordem mundial que é a corrosão, que em muitos casos é decorrente da ausência de práticas corretas para inibir este fenômeno. E propôs-se o desenvolvimento de uma aula experimental de identificação e compatibilidade entre tintas anticorrosivas, a fim de treinar equipes de manutenção industrial para recuperarem um esquema de pintura em campo.

Ao ensinar os conceitos básicos de corrosão, pôde-se abordar a importância das tintas e de seu uso correto na proteção anticorrosiva, e conscientizar a necessidade de um preparo na superfície metálica a ser tratada. E esses conceitos puderam ajudar no entendimento dos testes de identificação de tintas.

Neste trabalho, a aula experimental atendeu às expectativas dos profissionais participantes do treinamento de inspeção de pintura industrial para a equipe do setor elétrico. Bem como, quando a aula foi apresentada à turma de estudantes universitários da UFRJ, houve um interesse satisfatório em relação à discussão e o entendimento dos conceitos abordados na disciplina.

Durante a aula experimental, cujos alunos puderam executar os testes em laboratório, os resultados experimentais foram satisfatórios, visto que todas as amostras foram corretamente identificadas. Verificou-se que a realização da aula experimental foi importante para o treinamento desses profissionais, pois apenas

57% dos alunos informaram que já haviam assistido ou participado de algum experimento de química anteriormente e, para 14% dos alunos esta aula foi oferecida pela empresa em que trabalham, destacando as subsidiárias da Eletrobras, Furnas e Cepel.

Em relação à aceitação da turma, 100% dos alunos aprovaram a aula experimental, 86% conseguiu associar o conteúdo apresentado em seu cotidiano profissional e 93% informaram que os conhecimentos adquiridos serão úteis a sua rotina.

A aplicação dos conceitos do CTS no desenvolvimento deste trabalho, ajudou no treinamento dos profissionais, uma vez que o movimento CTS tem trago uma renovação dos conceitos para o ensino de ciências. Além de, durante o desenvolvimento desse trabalho, compreender que o tema tintas e corrosão no setor elétrico pode ser abordado como tema motivador e contextualizador nas aulas do Ensino Médio e pode incentivar o despertar pela ciência bem como na busca de profissões relacionadas a área estudada.

Dos profissionais que participaram dos experimentos apenas 29% tiveram acesso ao assunto abordado pelo instrutor previamente e 64% julgaram ser interessante já ter conhecimento sobre este assunto na época da escola na disciplina de química.

Durante a avaliação realizada com a turma que participou da aula experimental, foi possível identificar seu melhor rendimento em comparação a outra turma que não teve acesso a esta aula experimental, durante o treinamento recebido pelo Cepel.

O treinamento foi realizado visando direcionar os profissionais a serem mais críticos aos problemas existentes em campo relacionados à inspeção de pintura anticorrosiva. De acordo com os dados obtidos, os alunos informaram se sentir aptos a repetir os ensaios em campo após o treinamento recebido. Esta informação foi avaliada e segundo os resultados dos ensaios executados por eles em laboratório, as tintas desconhecidas foram corretamente identificadas.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização da rota de ensaios de identificação das tintas de acabamento, utilizando dois tipos de tinta alquídica, uma recém aplicada e uma envelhecida, e realizar os seguintes procedimentos:

- i. Identificação das resinas pela técnica de espectroscopia no infravermelho, para as duas condições, a fim de validar o ensaio;
- ii. Acompanhamento da cura da tinta alquídica através da medida de dureza da película, associando cada etapa ao teste de resistência ao solvente;
- iii. Realizar ensaio comparativo de desempenho da tinta alquídica em câmara de névoa salina e de umidade relativa, quanto à formação de empolamento;
- iv. Realizar ensaios de dureza e de resistência a solvente para realizar o acompanhamento das amostras;
- v. Realizar o ensaio de exposição ao envelhecimento acelerado em câmara de UVB a fim de realizar, posteriormente, os ensaios de dureza, resistência a solvente;
- vi. Elaborar e aplicar uma aula experimental de compatibilidade entre tintas para o público de ensino médio técnico, a fim de promover o conhecimento das técnicas para os futuros profissionais que poderão trabalhar nas atividades de inspeção de pintura.

## 8 REFERÊNCIA

ASTM D 5043:2009. **Standard test method for field identification of coatings**. ASTM International, Philadelphia, 2009.

AMAYA, D.B.R. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI, 1999.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (Cepel). Disponível em: <http://www.cepel.br/laboratorios-e-centros/menu/laboratorio-de-corrosao>. Acessado em março de 2016.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (Cepel). Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/normaseletronbrasdepinturaanticorrosiva/main.asp>. Acessado em novembro de 2016.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (Cepel): Disponível em: <http://www1.cepel.br/workshopcorrosao/agenda.html>. Acessado em dezembro de 2016.

CESAD (Centro de Educação Superior a Distância) da UFS (Universidade Federal de Sergipe). Disponível em: [http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/10345204042012Quimica\\_Organica\\_Experimental\\_Aula\\_6.pdf](http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/10345204042012Quimica_Organica_Experimental_Aula_6.pdf). Acessado em janeiro de 2017.

CYTED. **Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica**. Parte II: **Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Iberoamérica** (Red Temática Patina, XV.D/CYTEC), Madrid, CYTED, 673p., 2002.

FILGUEIRAS, C. A. L. **A Espectroscopia e a Química da Descoberta de Novos Elementos ao Limiar da Teoria Quântica**. História da Química. Química Nova na Escola. Espectroscopia e Química, nº 3, p. 22-25, 1996.

FRAGATA, F., SÁ, M., GNECCO, C. E. L. SILVA. **Desenvolvimento de procedimento prático de campo para a identificação de tintas de acabamento, visando auxiliar na especificação de esquemas de pintura de manutenção**. Corrosão e Proteção de Materiais. Vol. 33, Nº 4, p. 78-86, 2014.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

GOMES, M.S.S.O.; BRITO, D.M. e MOITA NETO, J.M. **A outra face do ácido sulfúrico**. CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA (CBQ), 47, Natal, 2007. Anais. Natal, 2007.

JOURNAL OF COATINGS TECHNOLOGY. **A mixed bag: coatings industry outlook for 2010**. Journal of Coatings Technology, v.6, n.10, p.21, 2009.

LUJÁN LÓPES, J. L. et al. **Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Tecnos, 1996.

MCMURRY, John. **Química Orgânica**. Combo. Tradução da 7<sup>o</sup> edição norte-americana. Tradução: All Task; revisão técnica Robson Mendes Matos. São Paulo: CENGAGE Learning, 2011.

MERÇON F.; GUIMARÃES P. I. C.; MAINIER F. B. **Sistemas experimentais para o estudo da corrosão em metais**. Química Nova na Escola, vol. 33, n° 1, 2011.

MONTEIRO, G. M. M. **Análise de Revestimentos Orgânicos por Espectroscopia de Infravermelho - Construção de uma base de dados de espectros**. Instituto Superior de Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. (Dissertação de Mestrado), 2007.

MUNGER, C.G. **Corrosion Prevention by Protective Coatings**. NACE International, Hounston, 1984.

ELETROBRÁS. Norma Técnica ELETROBRÁS NE 005. **Identificação e Compatibilidade entre Esquemas de Pintura**. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/elb/normaseletrabrasdepinturaanticorrosiva/main.asp>. (Acessado em novembro de 2006).

NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. Rio de Janeiro. LTC- Livros Técnicos e Científicos Ed.: Petrobras, 1990.

PETROBRAS, Especificação PETROBRAS N 2912. **Tinta epóxi “Novolac”**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

Proposta Curricular. Um novo formato. Ciências, Biologia , Física e Química. Rio de Janeiro. Fevereiro de 2010.

RIBEIRO, M. **Educação para a cidadania: questão colocada pelos movimentos sociais.** Educação e Pesquisa, 28(2), 113-128, 2002.

RIGOLETTO, I.P. **Implantação no Brasil do programa “Coatings Care” de prevenção de poluição e de acidentes do setor de tintas.** Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2010. (Tese de Doutorado).

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. **Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no contexto da educação brasileira.** Revista Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciência, vol. 2, n. 2, dezembro, 2002.

SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. **Educação em química: compromisso com a cidadania.** 2. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.

SCAFI, S. H. F. **Contextualização do Ensino de Química em uma Escola Militar.** Química Nova na Escola- Vol. 32, nº 3, 2010.

SERRA, Eduardo T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo.** Centro de Pesquisas de Energia Elétrica- CEPEL. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, C. A. D. da. **Estudo das tomadas de decisões de alunos universitários em questões que envolvem a ciência, a tecnologia e a sociedade.** Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. (Dissertação de Mestrado), 2002.

TELLES, C. Q. **A indústria de tintas no Brasil – cem anos de cor e história.** São Paulo: Abrafati. 1989. 119p.

TELLES, P.C.S. **Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem.** 9. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Sistema de Apoio às Disciplinas. **Tabela de valores de absorção no infravermelho para compostos orgânicos.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/340273/modresource/content/1/TABELA%20DE%20VALORES%20DE%20ABSOR%C3%87%C3%83O%20NO%20INFRAVERMELHO.pdf>. (Acessado em fevereiro 2017)

VALADARES, E. C. **Propostas de experimentos de baixo custo centradas no aluno e na comunidade.** Química Nova na Escola, n.º 13, p. 38-40, 2001.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. **Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula.** Ciência & Ensino, 1 (n.esp.), 2007.

ZANCAN, G. T. **Educação Científica: uma prioridade nacional.** São Paulo em Perspectiva, 14(3), 3-7, 2000.



## APÊNDICE 1

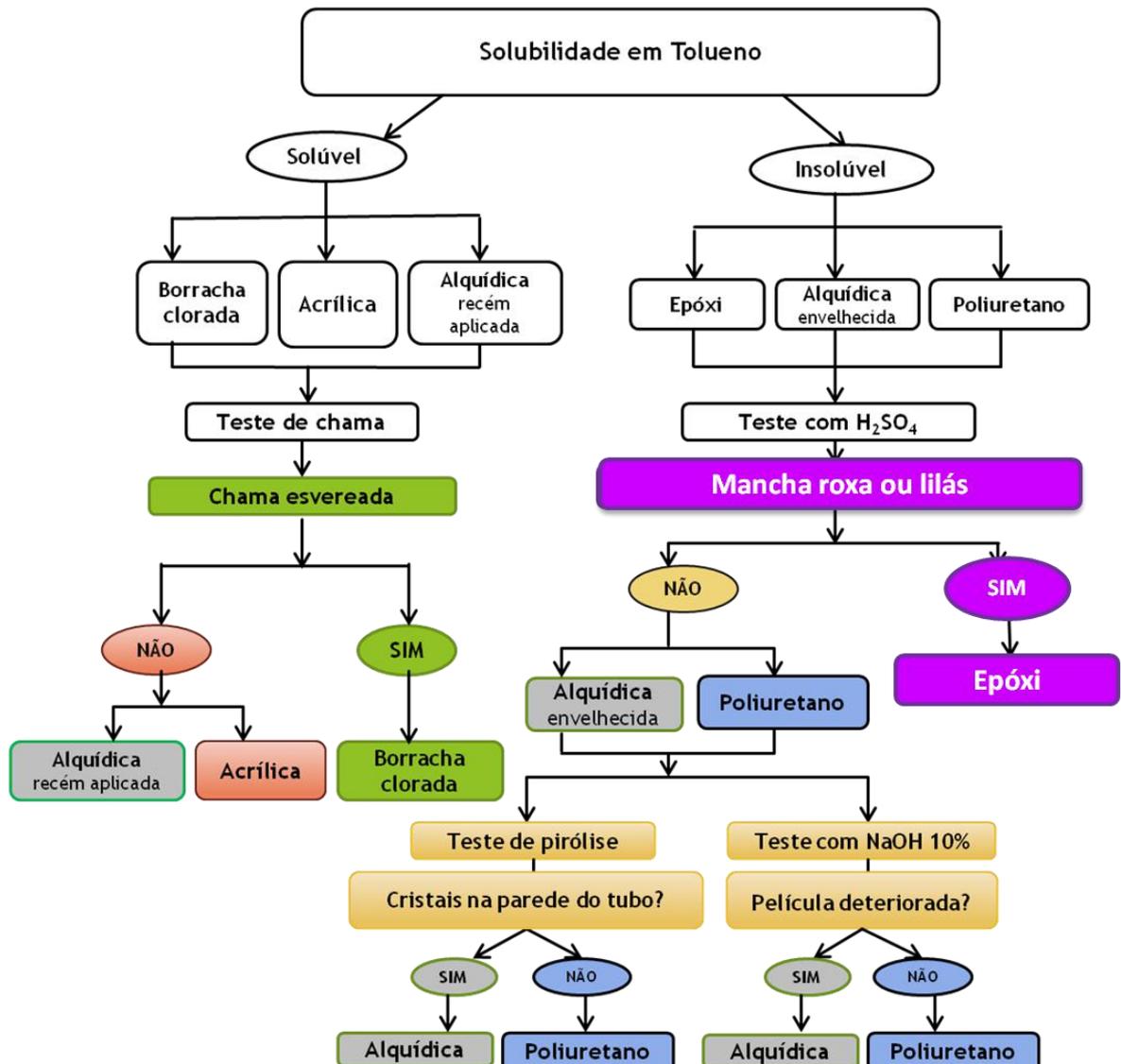
Professora orientadora: Fernanda Arruda Nogueira Gomes Da Silva

Instrutora: Joyce Braga Camargo

### Aula Experimental: Ensaio de Compatibilidade de Tintas de Acabamento

Os ensaios de compatibilidade de tintas serão realizados para identificar as amostras de tinta Alquídica, Borracha clorada, Acrílica, Epóxi e Poliuretano, os ensaios seguirão o esquema ilustrado no fluxograma da Figura 1 e representa a rota de identificação da amostra de tinta de acabamento do esquema de pintura antigo. De acordo com o resultado encontrado em cada etapa preencher a Tabela de Resultados

Figura 1- Fluxograma dos ensaios práticos de identificação de tintas de acabamento.



## **1. TESTE DE SOLUBILIDADE**

O teste verifica a solubilidade das amostras de tinta em contato com o solvente tolueno. A partir deste resultado as amostras são separadas em dois grupos: Solúveis e Insolúveis.

Materiais e Reagentes: Algodão, tolueno ou metiletilcetona (MEC).

### **1.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTE DE SOLUBILIDADE.**

- ✓ Friccionar durante 15 segundos um chumaço de algodão com o solvente (tolueno) na superfície da placa de tinta.
- ✓ O teste será positivo caso o algodão com solvente solubilize a tinta a ponto de atingir uma camada anterior do esquema de pintura ou substrato metálico.

## **2. TESTE DE CHAMA (TESTE DE BEILSTEIN)**

O teste de chama será realizado para identificar a presença de resinas cloradas, como por exemplo, borracha clorada. A identificação se dará pela coloração nitidamente esverdeada da chama. A chama ficará esverdeada ao entrar em contato com a amostra de borracha clorada.

Materiais: fio grosso de cobre, lixa, algodão e maçarico.

### **2.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTE DE CHAMA**

- ✓ Com o auxílio de um maçarico portátil, aquecer ao rubro um fio de cobre previamente desencapado, lixado e limpo. Verificar a coloração da chama do maçarico em contato com o fio de cobre, para certificar-se se o fio está limpo.
- ✓ Encostar fio de cobre aquecido ao rubro na superfície da tinta de acabamento.
- ✓ Colocar o fio de cobre + amostra de tinta em contato com a chama e verificar se houve variação na cor da chama.
- ✓ O teste será positivo para uma chama de coloração esverdeada.

### **3. TESTE DE ÁCIDO SULFÚRICO CONCENTRADO**

O teste com ácido sulfúrico serve para identificar a presença de resina epóxi na tinta. Para a realização deste ensaio é indispensável o uso de luvas devido o manuseio do ácido sulfúrico que é um ácido forte.

Materiais e Reagentes: Estilete (para cortar pequenas películas de tinta a ser analisadas), papel de filtro e ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).

#### **3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTE DE $H_2SO_4$ CONCENTRADO**

- ✓ Colocar uma pequena quantidade de amostra de tinta na superfície do papel de filtro no canto superior a folha.
- ✓ Gotejar uma a duas gotas de ácido sulfúrico concentrado sobre a amostra no papel. Após 10 a 20 segundos inclinar cuidadosamente a folha de papel para a gota de ácido sulfúrico escorrer para a parte inferior.
- ✓ Verificar a coloração do ácido.
- ✓ O teste será positivo para o aparecimento da coloração violeta que indicará que a tinta analisada possui resina epóxi.

### **4. ENSAIO DE DIFERENCIAÇÃO DAS TINTAS ALQUÍDICAS E DE POLIURETANO**

Neste item serão realizados dois ensaios específicos para a identificação de tinta antiga de acabamento. Um ensaio será realizado na superfície da área delimitada que será o ensaio com solução de NaOH 10% e o outro com o material removido da película, o teste de pirólise. Se os resultados dos ensaios forem negativos, a probabilidade maior é que a tinta em análise seja de poliuretano.

Materiais e Reagentes: Algodão, pinça, vidro de relógio, película de tinta previamente raspada com o auxílio de estiletos e espátula, tubos de ensaio, maçarico, pinça de madeira, suporte para tubo de ensaio quando quente, lupa e solução NaOH 10%

#### **4.1- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTE COM SOLUÇÃO NaOH 10%**

- ✓ Embeber um pequeno chumaço de algodão “compactado” numa solução de hidróxido de sódio (NaOH a 15 %).

- ✓ Cobrir o algodão com um vidro de relógio. Deixar o algodão em contato com a superfície de 30 a 40 minutos..
- ✓ Com o auxílio de uma pinça retirar o algodão e avaliar o resultado.
- ✓ O resultado será positivo se a película se encontrar toda deteriorada, neste caso a tinta em análise é, provavelmente, alquídica.

#### **4.2- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTE DE PIRÓLISE**

- ✓ Colocar uma porção da película de tinta de acabamento dentro de um tubo de ensaio de vidro.
  - ✓ Com o auxílio da pinça de madeira, segurar o tubo de ensaio com a raspa de tinta e direcionar o fundo do tubo à chama do maçarico, cuidado para os vapores orgânicos não entrar em contato com os olhos e a face, aguardar até que o material “carbonize”.
  - ✓ Após a queima total do material, deixar o tubo de ensaio alcançar a temperatura ambiente (20 a 30 min) e observar de forma minuciosa (com o auxílio de uma lupa) a parede interna do tubo de ensaio a presença de cristais pontiagudos, provenientes da tinta analisada, indicando a presença de compostos ftálicos. Para o teste positivo, há uma maior probabilidade de ser a tinta alquídica.
- 
- ❖ **Atenção: Não iniciar a execução do procedimento de identificação de uma tinta com teste de pirólise, porque se uma tinta, por exemplo, a epóxi, contiver compostos ftálicos em sua composição, há um risco de se emitir um parecer errado.**
  
  - ❖ Seguindo corretamente a sequência de análise do fluxograma, Figura 1, e ao identificar a tinta de acabamento existente em esquema de pintura, utilizar Norma Eletrobras NE-005 para acessar Tabela 1 de compatibilidade entre tintas de proteção anticorrosiva:

Tabela 1- Compatibilidade entre tintas de proteção anticorrosiva em esquema de pintura (NE-005)

TINTA EXISTENTE	TINTA A SER APLICADA					
	Alquídica	Borracha Clorada	Acrílica	Epóxi	Poliuretano	Epóxi Alcatrão de Hulha
Alquídica	C	NR	NR	NR	NR	NR
Borracha Clorada	C	C	C*	NR	NR	NR
Epóxi	C**	C**	C**	C	C	C
Epóxi Alcatrão de Hulha	NR	NR	NR	NR	NR	C

**C** = COMPATÍVEL  
**NR** = NÃO RECOMENDADO  
**C\*** = COMPATÍVEL, PORÉM NÃO É PRÁTICA NORMAL  
**C\*\*** = COMPATÍVEL (SE O INTERVALO MÁXIMO ENTRE DEMÃOS NÃO FOR EXCEDIDO)

Tabela obtida em Norma Eletrobras NE005. <http://www.eletobras.com/elb/normaseletobrasdepinturaanticorrosiva/main.asp>

**TABELA 2- Tabela de Resultados para ensaio de compatibilidade entre tintas de acabamento.**

ENSAIOS		RESULTADOS			
		POSITIVO	O que fazer?	NEGATIVO	O que fazer?
1	TESTE DE SOLUBILIDADE	( )	Ir para ensaio 2	( )	Ir para ensaio 3.
2	TESTE DE CHAMA	( )	Tinta de borracha clorada	( )	Tinta Acrílica ou Alquílica (recém aplicada)
3	TESTE DO ÁCIDO SULFÚRICO CONCENTRADO	( )	Tinta Epóxi	( )	Tinta Poliuretano ou Alquílica (pintura antiga) Ir para ensaio 4.
4	ENSAIO DE DIFERENCIAÇÃO DAS TINTAS ALQUÍDICAS E POLIURETANO	TESTE DE PIRÓLISE	( )	Tinta alquílica (Pintura antiga)	Tinta Poliuretano
		TESTE COM SOLUÇÃO NAOH 10%	( )	Tinta alquílica (Pintura antiga)	Tinta Poliuretano

## APÊNDICE 2

CURSO: FUNDAMENTOS DE INSPEÇÃO DE PINTURA ANTICORROSIVA

LABORATÓRIO DE CORROSÃO

Instrutora: Joyce Braga Camargo.

### QUESTIONÁRIO PARA EQUIPES DE MANUTENÇÃO E DE PROJETO DO SETOR ELÉTRICO

*O questionário a seguir não servirá de avaliação pessoa, no entanto, permitirá o levantamento do perfil da turma que participou da aula experimental.*

Nome: (Opcional) \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Profissão: \_\_\_\_\_

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Escolaridade: ( ) Fundamental ( ) Médio ( ) Superior

Área de atuação no setor elétrico: \_\_\_\_\_

1. Você já assistiu ou participou de algum experimento de química anteriormente?

( ) Sim ( ) Não

Se sim, onde?

\_\_\_\_\_

( ) Sim ( ) Não

2. Você gostou da aula experimental?

( ) Sim ( ) Não

3. Os experimentos ajudaram a entender o conteúdo teórico abordado no curso de Fundamentos de Inspeção de Pintura Anticorrosiva oferecido pelo Laboratório de Corrosão do Cepel?

( ) Sim ( ) Não

4. Você sabia que as diversas tintas industriais apresentam diferenças na composição química e na aplicação?

Sim       Não

5. O tema compatibilidade entre tintas de acabamento faz parte do seu dia-a-dia?

Sim       Não

6. Você conseguiu associar o conteúdo apresentado pelo instrutor com seu dia-a-dia?

Sim       Não

7. A aula experimental será útil para ser aplicada no seu dia-a-dia?

Sim       Não

8. Durante a sua vida escolar, você teve acesso ao assunto abordado pelo instrutor?

Sim       Não

Se Não, você acha interessante ter tido conhecimento sobre este assunto na época da escola quando você estudou química? Por quê?

Sim       Não

Justificativa: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

9. Caso tenha algum comentário adicional, dúvida ou crítica, escreva-o aqui:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10. Referente à aula experimental de química qual(is) foi(foram) o(s) objetivo(s) da prática?

Identificar corrosão em metais.

Identificar compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo.

Analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico.

Avaliar o tratamento de superfície metálica para pintura.

### APÊNDICE 3

#### ❖ Questionário sobre Aula Experimental: Tintas Industriais Anticorrosivas.

*Este questionário servirá para levantamento do perfil da turma que participou da aula experimental.*

Nome: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Profissão: \_\_\_\_\_

Curso da graduação: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

Área de atuação profissional ou acadêmica: \_\_\_\_\_

11. Referente à aula experimental de química, o que você entendeu ser o objetivo da prática?

- Identificar corrosão em metais.
- Identificar compatibilidade de tintas de acabamento em esquema de pintura antigo.
- Analisar a composição das tintas industriais utilizadas no setor elétrico.
- Avaliar o tratamento de superfície metálica para pintura.

12. Você saberia distinguir a diferença na composição e aplicação das diversas tintas industriais?

- Sim       Não

13. O tema compatibilidade entre tintas de acabamento faz parte do seu dia-a-dia, isto é, do convívio em sua vida profissional ou acadêmica?

- Sim       Não

14. O experimento ajudou você a entender o conteúdo teórico sobre corrosão abordado nesta disciplina?

- Sim       Não

15. Você conseguiu associar a matéria explicada pelo instrutor nesta aula experimental com alguma situação vivida em seu cotidiano?

- Sim       Não

16. Você gostou da aula experimental?

- Sim       Não

17. Sobre o assunto abordado: “Compatibilidade entre tintas de proteção anticorrosiva”

Você considera interessante e relevante aprender este assunto no ensino médio ao estudar química? Por que?

Sim       Não

Justificativa: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Sobre aprender este assunto em uma disciplina na graduação, você considera relevante? Por que?

Sim       Não

Justificativa: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

18. Caso tenha algum comentário adicional. dúvida ou crítica, escreva-o aqui:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Obrigada pela participação.☺