



**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PELÍCULAS ORGÂNICAS BASE
ÁGUA EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO SULFÚRICO COM CONTROLE DE
pH**

SÃO PAULO
2014



CIRENE PAULUSSI TOFANETTO
CLARA APARECIDA CABRAL CRISTOFALO
SUZETE HATSUMI MAKISHI

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PELÍCULAS ORGÂNICAS BASE
ÁGUA EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO SULFÚRICO COM CONTROLE DE
pH**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2014

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de aprendizado tanto profissional quanto pessoal.

Às nossas famílias e amigos, pela compreensão, cooperação e estímulo.

Ao nosso orientador professor De Luca pelas preciosas observações que engradeceram este trabalho e que vamos levar por toda a vida profissional

Ao nosso atencioso coordenador de curso André Tadeu Moreno Figueiró por suas injeções de ânimo e por todo carinho que sempre nos ofereceu.

A todos os professores do nosso curso, em especial os professores Selmo Soares, José Eduardo Granato e Emílio Minoru Takagi, por prontamente nos atenderem em nossos questionamentos durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colegas que compartilharam conosco seu conhecimento e experiências, destacando-se os generosos colegas Carla Castro de Paula, Bruno Antônio Chagas Raimundo e Tiago Meier.

A todos os colegas de turma de Pós Graduação, por compartilharem seus conhecimentos e por proporcionarem sempre um ambiente amigável e harmonioso durante as aulas, e dos quais levaremos carinhosas lembranças.

À empresa VIAPOL, por ceder os materiais utilizados, seu laboratório e equipe, sem os quais a realização deste trabalho seria impossível.

Aos amigos da empresa VIAPOL Alcinere Cunha, Camila Mamede, Marco Antonio Paranhos e Paulo Cesar Cuyabano, e também sem os quais a realização deste trabalho seria impossível de ser realizado e concluído.

Nossa imensa gratidão a todos!

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PELÍCULAS ORGÂNICAS BASE ÁGUA EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO SULFÚRICO COM CONTROLE DE pH

Por

CIRENE PAULUSSI TOFANETTO

CLARA APARECIDA CABRAL CRISTOFALO

SUZETE HATSUMI MAKISHI

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo (SP) 28 de Novembro de 2014.

Prof. Ms. Luis César Siqueira De Luca

Prof. Cesar Henrique Sato Daher

Prof. André Tadeu Moreno Figueiro

RESUMO

A proteção de estruturas de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) vem sendo alvo de muitos estudos quanto a desempenho e vida útil, pois o tratamento dos efluentes residenciais e industriais são muito importantes para a preservação do meio ambiente e para a saúde da população. As falhas ou interrupções no sistema de tratamento podem prejudicar o ecossistema trazendo malefícios à região afetada. Por isso, é importante a minimização de paralisações para manutenção e um estudo mais aprofundado de sistemas de proteção mais eficientes.

Visando comparar o desempenho de diferentes películas, foram estudados 03 produtos (Resina Epoxídica, Poliuréia Híbrida Aromática e Poliuretano Vegetal) quanto à resistência química em soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) com concentrações de 0,024%, 5%, 20% e 50% e com concomitante avaliação de pHs.

A metodologia utilizada para o programa experimental constituiu-se por moldagem das películas e ensaio baseado na norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings.

Nos períodos de 30 e 60 dias foram analisados os comportamentos qualitativo e quantitativo das películas em seus meios submerso e atmosférico e notou-se que a película a base de Poliuretano Vegetal apresentou menores alterações em suas características frente ao ataque químico.

Palavras chave: ácido sulfúrico (H_2SO_4), pH, epóxi, poliuréia híbrida aromática, poliuretano vegetal, dureza, variação de massa, espessura e resistência química.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ĩ Composição da Poliureia	26
Figura 2 ĩ Polimerização dos Poliuretanos.....	Erro! Indicador não definido. 28
Figura 3 ĩ Recipiente para imersão das películas segundo a Norma ASTM-G20-10.	35

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Estação de tratamento de esgoto (Fonte: CEDAE, 2008)	17
Foto 2 ï Tratamento preliminar e tratamento primário (Fonte: FEAM, 2006) ...	18
Foto 3 ï Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 30 dias (A e B)...	37
Foto 4 ï Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 30 dias (C e D)...	38
Foto 5 ï Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromática aos 30 dias (A e B).....	40
Foto 6 ï Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromática aos 30 dias (C e D).....	40
Foto 7 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 30 dias (A e B).	42
Foto 8 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 30 dias (C e D).	42
Foto 9 ï Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 60 dias (A e B)...	44
Foto 10 ï Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 60 dias (C e D).	44
Foto 11 ï Comparação das películas da Poliuréia Híbrida Aromática aos 60 dias (A e B).....	46
Foto 12 ï Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromáticas aos 60 dias (C e D).....	46
Foto 13 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 60 dias (A e B).	48
Foto 14 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 60 dias (C e D).	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 ĩ Concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) X pH.....	36
Gráfico 2 ĩ Variação de massa no período de 30 dias.	51
Gráfico 3 ĩ Variação de massa no período de 60 dias.	52
Gráfico 4 ĩ Variação de espessura no período de 30 dias.....	53
Gráfico 5 ĩ Variação de espessura no período de 60 dias.....	54
Gráfico 6 ĩ Variação da dureza no período de 30 dias.....	55
Gráfico 7 ĩ Variação da dureza no período de 60 dias.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 ĩ Características técnicas da Resina Epoxídica	31
Tabela 2 - Características técnicas da Poliuréia Híbrida Aromática.....	32
Tabela 3 ĩ Características Técnicas do Poliuretano Vegetal.....	33
Tabela 4 - Esquema de leituras e quantidade de películas moldadas.....	34
Tabela 5 ĩ Características das soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de imersão	36
Tabela 6 ĩ Análise qualitativa da Resina Epoxídica (30 dias)	39
Tabela 7 ĩ Análise qualitativa na Poliuréia Híbrida Aromática (30 dias).....	41
Tabela 8 ĩ Análise qualitativa da Resina de Poliuretano Vegetal (30 dias).....	43
Tabela 9 ĩ Análise qualitativa na Resina Epoxídica (60 dias)	45
Tabela 10 ĩ Análise qualitativa da Poliuréia Híbrida Aromática (60 dias).....	47
Tabela 11 ĩ Análise qualitativa do Poliuretano Vegetal (60 dias).....	49
Tabela 12 ĩ Variação de massa em 30 e 60 dias.....	50
Tabela 13 ĩ Variação da espessura da Resina Epoxídica.....	53
Tabela 14 ĩ Variação da dureza nos períodos de 30 e 60 dias	55

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	2
FOLHA DE APROVAÇÃO	3
RESUMO.....	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE FOTOS.....	6
LISTA DE GRÁFICOS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	7
SUMÁRIO	8
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1. Objetivo Geral.....	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
1.3. HIPÓTESE.....	12
1.4. JUSTIFICATIVAS	13
1.4.1. Tecnológicas	13
1.4.2. Econômicas	14
1.4.3. Sociais.....	14
1.4.4. Ecológicas	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. MEIOS AGRESSIVOS E AGENTES AGRESSORES.....	16
2.1.1. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).....	16
2.1.2. Agentes agressivos atuantes em ETEs	20
2.1.3. Efluentes Industriais	21
2.1.4. Potencial Hidrogeniônico (pH) e o Concreto	22

2.2. PELÍCULAS	24
2.2.1. Resina Epoxídica.....	24
2.2.2. Resina à base de Poliuréia Híbrida Aromática	26
2.2.3. Resina de base Poliuretano Vegetal	27
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	30
3.1. MOLDAGEM DAS PELÍCULAS.....	30
3.1.1. Resina Epoxídica (Viapoxi Coat).....	30
3.1.2. Resina a base de poliuréia híbrida aromática (ViaPoliUréia 200 PH) 32	
3.1.3. Resina a base de poliuretano vegetal (Vitpoli Eco)	33
3.2. PREPARAÇÃO DO ENSAIO	34
3.3. SOLUÇÃO DE IMERSÃO.....	35
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	37
4.1. RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVA.....	37
4.1.1. Leitura do ensaio de 30 dias de laboratório.....	37
4.1.2. Leitura do Ensaio de 60 dias de laboratório	43
4.2. RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA	49
4.2.1. Variação de Massa.....	50
4.2.2. Variação de Espessura	52
4.2.3. Variação de Dureza	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é fornecer dados comparativos a respeito da resistência de diferentes películas de proteção – resina epoxídica, poliuretano vegetal e poliuréia híbrida aromática – submetidas a diferentes concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e pHs, a fim de subsidiar futuras especificações técnicas utilizando um produto dentre algumas das opções existentes atualmente, sendo que para a seleção dos produtos utilizou-se como critério a isenção de solventes em suas composições.

A proteção de estruturas de concreto frente a qualquer ataque químico, sempre deve ser alvo de estudo cuidadoso para definição de um sistema de proteção. No entanto, chama-se a atenção para a agressão de soluções ácidas ao concreto e destaca-se a agressão do ácido sulfúrico produzido por bactérias – chamada corrosão bacteriana – devido ao seu alto poder destrutivo. Tal fato é justificado pela afirmação de Cunha et al. (2013), em que diz que a presença de bactérias aeróbias que causam a corrosão bacteriana – as bactérias do gênero *Thiobacillus* – em solos e águas poluídas é uma das responsáveis pela rápida degradação do concreto. Ainda, dentre as formas de bioterioração, a produção de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por estas bactérias é considerada a causa mais agressiva para biodeterioração do concreto (KULISCH, 2011).

Outra afirmação é a de Ferreira et.al (2013) que adverte que o efeito do ácido sulfúrico no concreto é mais prejudicial do que o ataque por outros íons sulfato, devido ao efeito de dissolução causada pelos íons de hidrogênio.

Este mecanismo de degradação é característico em Estações Tratamento de Esgoto (ETEs) ou em tubulações de efluentes industriais e funciona abaixando o pH do meio e reagindo aos carbonatos existentes. Sendo o concreto um material constituído de Cimento Portland, o mesmo possui elevado pH e não possui resistência a ambiente ácidos.

Tal ataque provoca perda de massa, aumento da porosidade e fissuração por expansão e a progressão da degradação se dá cada vez mais rapidamente, visto que quanto mais poroso o concreto, maior a facilidade de penetração de agentes agressivos. Consequentemente, as armaduras são atingidas, iniciando-se sua deterioração pela redução do pH e consequente despassivação, até a sua exposição.

Ferreira e Almeida (s. d.) destacam que a velocidade desta degradação depende da facilidade de acesso de íons deletérios, a qual está relacionada com a permeabilidade do concreto. Este fato justifica a importância da utilização de películas de proteção, as quais são barreiras que impedem o contato físico e químico entre o concreto e os elementos agressivos.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Entre as películas de proteção orgânicas base água selecionadas - Resina Epoxídica, Poliuréia Híbrida Aromática e Poliuretano Vegetal - qual apresenta maior resistência química frente o ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em determinadas concentrações, consequentemente com diferentes níveis de pHs?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se o objetivo geral e específico do programa experimental.

1.2.1. Objetivo Geral

Comparar o desempenho de diferentes películas em diferentes soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4), através de metodologia experimental baseada na Norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings, onde serão analisadas as variações de massa, espessura e dureza, além de aspectos qualitativos como alteração de cor, amolecimento, deformação e enrijecimento.

1.2.2. Objetivos Específicos

Após a moldagem e cura das películas, as mesmas serão submetidas ao ensaio baseado na Norma ASTM-G20-10 – onde 50% da superfície da película permanece em meio submerso (imersão) e 50% em meio atmosférico (gases) –, utilizando soluções com concentrações determinadas de 0,024%, 5%, 20% e 50%, com a finalidade de atingir os seguintes objetivos:

- a) Correlacionar as concentrações de diferentes soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) com seus respectivos pHs;
- b) Estudar parâmetros físicos que estão relacionados à eficiência de uma película frente a ataques químicos;
- c) Comparar experimentalmente tais parâmetros analisando as películas frente a diferentes concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4);
- d) Obter dados para subsidiar especificações técnicas.

1.3. HIPÓTESE

A película de Poliuretano Vegetal oferece maior resistência química ao ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) nas concentrações determinadas de 0,024%,

5%, 20% e 50% e assim, demanda menos intervenções para manutenção e durabilidade da estrutura.

1.4. JUSTIFICATIVAS

O contato de algumas estruturas de concreto com agentes agressivos é inevitável, como no caso de tubulações para condução de águas servidas ou resíduos industriais, e em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), devido à natureza do fluido.

Segundo Paula et.al (2012) as estruturas para tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por exemplo, apresentam em média apenas 20 anos de operação, sendo que esta é a maior empresa de Saneamento Básico da América Latina. Portanto, é fundamental o estudo e desenvolvimento de materiais que protejam este concreto e proporcionem maior vida útil a estas estruturas.

Relacionamos e apresentamos a seguir as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para a pesquisa.

1.4.1. Tecnológicas

Através da identificação e relação entre as películas de maior resistência aos meios agressivos ao ácido sulfúrico (H_2SO_4) e diferentes pHs, pode-se fornecer dados científicos para subsidiar a especificação de produto para proteção de estruturas de concreto em situações correlatas às condições de ensaio, bem como auxiliar na definição do plano de manutenção da proteção.

1.4.2. Econômicas

Prover resultados que auxiliem na definição de planos de manutenção, a fim de reduzir intervenções e possíveis paralisações do sistema de tratamento, racionalizando gastos e mantendo a vida útil da estrutura e possíveis manifestações patológicas a que a estrutura está sujeita.

1.4.3. Sociais

Evitar, por exemplo, a paralisação de Estações de Tratamento de Esgoto, onde há grande ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e consequentemente, evitando contaminação dos recursos hídricos de suas águas e solos, podendo ocasionar doenças à população.

1.4.4. Ecológicas

- Reduzir a necessidade de desvio do efluente para águas e solos limpos, evitando sua contaminação, durante operações de manutenção em ETEs;
- Reduzir a geração de resíduos oriundos de manutenção das estruturas;
- Incentivar a utilização de produtos nãoecologicamente corretos, neste caso, com baixo teor de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis).

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Propõe-se neste estudo comparativo verificar quantitativamente e qualitativamente as condições de 03 diferentes películas submetidas a 04 concentrações e pHs, simulando um ensaio acelerado, por um período de 30 e 60 dias. Para tanto, proceder-se-á com as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica das normas aplicáveis, bem como artigos científicos, dissertações, teses, monografias e livros editados sobre o assunto;
- Realização de ensaios laboratoriais conforme Norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings (imersão e atmosférica);
- Análise dos resultados obtidos.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste item será apresentado de forma breve o conteúdo de cada capítulo deste trabalho:

Este **Capítulo** apresentou o problema de pesquisa e seus objetivos, explanando as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre a constituição e a aplicabilidade de cada película estudada, sobre os meios agressivos que propiciam a biodegradação por ácido sulfúrico, e sobre os aspectos relacionados ao desempenho de uma película quanto a sua função de impermeabilização e de proteção contra o ácido sulfúrico.

O **Capítulo 3** trata do programa experimental realizado, apresentando a moldagem das películas de prova, os equipamentos utilizados para medições físicas e a confecção das soluções de imersão.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo com base no programa experimental.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentado o meio agressivo onde ocorre o fenômeno de degradação do concreto por biodeterioração através de ácido sulfúrico, além de discorrer sobre as películas estudadas, abrangendo suas composições e aplicabilidade.

2.1. MEIOS AGRESSIVOS E AGENTES AGRESSORES

Segundo Cunha et. al (2013) soluções de ácido sulfúrico podem ser encontrados em tubulações de efluentes de indústrias químicas, bem como em estruturas em contato com águas residuais, como redes de esgoto e estruturas de instalações para tratamento de água e esgoto (ETAs ou ETEs). A seguir, estudam-se alguns destes ambientes.

2.1.1. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

As águas provenientes da atividade humana, nos mais diversificados usos, arrastam impurezas que certamente são nocivas ao meio ambiente. De acordo com o Departamento de Água e Esgoto (DAE,2006) são conhecidos inúmeros casos de populações que foram afetadas por doenças patogênicas em regiões desprovidas de qualquer tipo de tratamento de efluente. Nas regiões onde os esgotos sanitários são tratados, a incidência de doenças patogênicas é praticamente nula.

O tratamento de esgoto doméstico, seja através de processos físicos, químicos ou biológicos, remove a carga contaminante ou poluente a um nível compatível com o corpo receptor de modo que o efluente final tratado possa ser absorvido, sem provocar a degradação do meio ambiente e riscos à saúde do homem. A Foto 1 ilustra uma Estação de Tratamento de Esgoto.



Foto 1 - Estação de tratamento de esgoto (Fonte: CEDAE, 2008)

Segundo o Departamento de Água e Esgoto (DAE, 2006) um curso d'água em seu estado normal constitui um ecossistema e nele coexistem inúmeros organismos que se relacionam entre si e com o próprio ambiente fazendo com que, em condições normais esteja sempre em equilíbrio. A maioria destes organismos necessita de oxigênio dissolvido na água (OD) para sua existência e qualquer modificação introduzida pode provocar sérios desequilíbrios, eliminando algumas espécies do meio ambiente.

Os esgotos que são lançados nos rios podem fazer com que o teor de oxigênio dissolvido na água (OD) diminua e para recuperar-se deve ocorrer a reaeração. No entanto, esta capacidade está limitada a uma série de fatores, entre eles a altitude, temperatura, acidentes geográficos, vazão, etc. Em condições naturais normalmente existe equilíbrio entre os dois fatores, porém, ao receber o lançamento de despejos sanitários este equilíbrio pode ser quebrado.

O processo de tratamento de esgoto varia de acordo com o grau de tratamento exigido. Atualmente o processo mais utilizado para tratamento de esgoto doméstico é chamado de Sistema Biológico.

O Sistema Biológico se dispõe em quatro fases: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

No tratamento preliminar acontece à remoção dos sólidos grosseiros, sólidos flutuantes, areia, óleos e graxas, através de grades, crivos, peneiras, ou desintegradores (sólidos grosseiros); caixas de areia (remoção de areia) e caixas de gordura (remoção de óleos e graxas).

No tratamento primário é realizada a remoção dos sólidos em suspensão, através de decantadores primários com ou sem adição de flocculantes, digestores (tratamento de lodo removido) e secagem de lodo.

Nos decantadores de pequenas dimensões o lodo é retirado por meio de uma tubulação única, e nos tanques maiores, com raspadores mecânicos e bombas.

A Foto 2 ilustra o tratamento preliminar (através de gradeamento manual) e o tratamento primário (através de decantadores).



Foto 2 i Tratamento preliminar e tratamento primário (Fonte: FEAM, 2006)

No tratamento secundário ocorre a estabilização parcial da matéria orgânica contida no efluente do tratamento primário através da ação de microrganismos. Os processos adotados são aeróbios (filtração biológica, lodos ativados, lagoas aeróbicas ou facultativas) e anaeróbios (lagoas anaeróbias, reatores anaeróbios).

Quando há oxigênio dissolvido, são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição. Este processo necessita três vezes menos tempo que a anaeróbia e dele resultam gás carbônico, água, nitratos e sulfatos, substâncias inofensivas e úteis à vida vegetal.

Na ausência do oxigênio, a decomposição se dá pela ação das bactérias anaeróbias gerando gases como o sulfídrico, metano, nitrogênio, amoníaco e outros geralmente gases malcheirosos. Um processo muito utilizado é o Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF), pois é um sistema de tratamento de esgoto com baixo custo de implantação e manutenção.

O tratamento terciário é adotado quando exigido um alto grau de pureza do afluente ou a remoção de um determinado poluente sendo utilizada lagoa aeróbica após tratamento secundário. Os processos utilizados para este tratamento são desinfecção e filtração.

De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2006) uma Estação de Tratamento de Esgotos geralmente é dimensionada e projetada para atender ao alcance de mais de 10 anos de vida útil, necessitando uma operação adequada e a manutenção periódica para garantir a função de melhoria na qualidade ambiental e dos recursos públicos aplicados.

2.1.1.1. Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado (RALF)

De acordo com Aisse e Leite (s. d.), o funcionamento do processo do RALF é simples: após o esgoto estar gradeado e desarenado (tratamento primário), ele é distribuído de maneira igual no fundo do reator e é filtrado através de uma camada de lodo biológico, assim o efluente é retirado uniformemente da superfície do sedimentador. O RALF separa o biogás, esgoto e lodo devendo ter uma boa capacidade de sedimentação, desenvolvendo um lodo granular.

As partes inferiores do reator contem um manto de lodo previamente formado e rico em bactérias anaeróbias, onde o esgoto é misturado em fluxo ascendente com o lodo. Assim, a matéria orgânica contida no esgoto fica retida neste manto de lodo, o qual é degradado e estabilizado por meio da atividade

metabólica das bactérias, transformando a matéria orgânica em produtos estáveis como água, biogás e outros elementos inertes.

Na parte superior do reator existe uma parede defletora servindo de interface da zona de digestão e de decantação. Os gases formados se concentram na parte superior interna do reator de que através de um tubo são descartados ou reaproveitados para fins energéticos. A parte sólida arrastada pelos gases retorna ao manto de lodo, após o desprendimento das bolhas geradas e o líquido segue para o decantador periférico e é vertido para uma canaleta e conduzido para o emissário.

Este processo é muito agressivo a estrutura do RALF, sendo necessário um sistema de proteção eficaz para a estrutura.

2.1.2. Agentes agressivos atuantes em ETEs

De acordo com Fortunato et. al (2007) as águas residuárias carregam uma série de ácidos orgânicos voláteis que inevitavelmente atritam-se com as paredes de concreto dos sistemas de tratamento. Devido ao pH alcalino e à presença de cálcio na composição original do cimento, ocorre uma reação de neutralização, gerando acetato de cálcio que é carregado pelo esgoto, fazendo com que a superfície agredida fique extremamente rugosa (com aspecto de lixa grossa).

Sobre o nível d'água a corrosão do concreto devido à liberação de gases como o H_2S que são formados devidos compostos orgânicos dissolvidos no esgoto.

A formação de ácido por via química obedece à seguinte sequência de reações:



Na equação (1), o oxigênio necessário para a reação, vem de pequenas infiltrações nos reatores anaeróbios, resultando então em enxofre absoluto, que em presença de umidade (natural do reator), oxida-se a ácido sulfúrico (equação (2)), e em ausência pode-se acumular como produto de oxidação, nas paredes ou teto do reator. Durante estas etapas de oxidação o pH baixa drasticamente para aproximadamente 0,5. Na reação (3), a neutralização, o sulfato de cálcio formado possui volume molecular maior do que o carbonato de cálcio, ou seja, é mais expansivo, provocando desta maneira estufamento e desagregação do concreto. (FORTUNATO et. al, 2007)

A formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por via biológica é por meio de microrganismos como o *Thiobacillus concretivorus*. Esta bactéria possui grande capacidade de crescimento e alta atividade metabólica em ausência de compostos orgânicos. Estes microrganismos necessitam do H_2S e pequenas quantidades de gás carbônico, oxigênio, sais minerais e água, produzindo ácido sulfúrico, que reage com o carbonato de cálcio, originando o estufamento e desagregação da estrutura de concreto.

Quanto ao fenômeno de expansão, Ribeiro et.al (2014) diz que **o** ácido sulfúrico reage com o hidróxido de cálcio livre ou com o aluminato tricálcico, ambos presentes no concreto, produzindo cristais de sulfoaluminato de cálcio, que se expandem provocando primeiro a fissuração e depois a desagregação do concreto, expondo a armadura ao meio exterior. (FORTUNATO et. al, 2007)

2.1.3. Efluentes Industriais

De acordo com a Norma Brasileira NBR 9800 (ABNT, 1987), **o** efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento

industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

Diversas indústrias emitem compostos de enxofre, que podem vir a ser convertidos a sulfato e a ácido sulfúrico no meio ambiente (MOCKAITIS, 2008). Assim, as estruturas que conduzem e armazenam estes efluentes estão sujeita à deterioração pelo baixo pH do efluente - cujo responsável pela acidez é a presença de sulfatos - e à ação do ácido sulfúrico, quando este é formado.

Dentre essas indústrias, estão as de processamento de minerais, produção de papel, processamento de alimentos, explosivos, fertilizantes, detergentes (xenobióticos em geral, como tensoativos), papel, nylon, fármacos e pigmentos. Ainda, o ácido sulfúrico é utilizado como catalisador de diversas reações, no tratamento de efluentes, na fabricação de baterias e no refinamento do petróleo.

2.1.4. Potencial Hidrogeniônico (pH) e o Concreto

O termo pH é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, que é medido através da concentração de H^+ ou OH^- .

De acordo com Haddad (s. d.), o conceito utilizado do pH é a concentração de íons H^+ numa solução. Isto significa, na realidade, que a escala de pH é constituída pelos valores entre 0 e 14 - expressa a concentração de íons de hidrogênio, indicando sua alcalinidade ou acidez. O valor 7 na escala representa um pH neutro.

Ácidos são substancias que em contato com a água liberam íons H^+ (maior concentração de H^+) resultando valores de pH abaixo de 7 e próximos de zero. No caso das bases, em contato com a água liberam íons OH^- (maior concentração de OH^-) resultando valores de pH entre 7 a 14.

Quando um composto ácido possui concentração elevada (acima de 1,0 mol/L), o pH do composto se torna negativo. É um caso de concentração de íon hidrônio que a escala não suporta. O mesmo ocorre com bases com concentrações superiores a 1,0 mol/L, relativamente aos íons hidroxila, chegando-se a valores de pOH (potencial hidroxiiônico) superiores a 14.

O valor de pH é o logaritmo negativo da base 10 da concentração molar de íons hidrogênio (H^+), ou seja:

$$pH = - \log [H^+]$$

Onde $[H^+] = [\text{mol/L}]$

Assim, para uma concentração de 20,0 mol/L (extremamente alta) tem-se:

$$pH = - \log 20$$

$$pH = - 1,3$$

Observa-se, portanto, que quanto maior a concentração de ácido, mais negativo será seu pH e que, para elevar-se 1,0 no valor do pH de uma solução existente, a mesma deve ser diluída em água em 10 vezes o seu volume. Utilizando-se o exemplo dado, se diluirmos 1 litro de solução a 20,0 mol/L em 10 litros de água, teremos uma solução a 2,0 mol/L

$$pH = - \log 2$$

$$pH = - 0,3$$

Segundo Haddad (s. d.) no caso do ácido sulfúrico (H_2SO_4) que possui concentração de 98%, sendo este extremamente ácido.

Quanto à agressividade de compostos ácidos ao concreto, Ferreira et.al (2013), afirmam que o ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) provoca perda

progressiva de massa, dissolução dos produtos hidratados da pasta e aumento gradativo da porosidade.

Ainda, há formação de compostos expansivos, os quais causam desagregação do concreto e exposição de armaduras. Sobre este fenômeno, Ribeiro (2014) explica que há reação entre o ácido sulfúrico reage e o hidróxido de cálcio livre ou o aluminato tricálcico, ambos presentes no concreto, produzindo cristais de sulfoaluminato de cálcio, que se expandem provocando primeiro a fissuração e depois a desagregação do concreto, expondo a armadura ao meio exterior.

Outra consequência do ataque ácido é a redução da alcalinidade do concreto, de fora para dentro, constituindo uma frente de alcalinização que, ao atingir as armaduras, causa a despassivação das mesmas, propiciando a ocorrência de corrosão eletroquímica do aço.

2.2. PELÍCULAS

Uma película de proteção constitui-se de material que se interpõe entre o substrato e o meio, formando uma barreira protetora contra líquidos e gases. As películas estudadas são compostas por materiais orgânicos e todas possuem características de base água. Nos subitens seguintes serão aprofundadas as características de cada material estudado.

2.2.1. Resina Epoxídica

Segundo citado por Mateus (2009) em 1936, Pierre Castan descobriu o primeiro composto termo-rígido derivado da resina epóxi que foi inicialmente utilizado para aplicação dentária. Com o desenvolvimento de endurecedores (ou agentes de cura) esta resina epóxi atingiu propriedades diferentes, como

resistência química, física e mecânica. Com estas alterações a resina epóxi foi introduzida para uso na indústria.

Existem atualmente dois grandes grupos de resina epóxi: os termoplásticos e os termo-endurecíveis.

Os termo-endurecíveis são polímeros que após o endurecimento não podem ser transformados, isto é, após se solidificar formam um corpo sólido e estável que não poderá voltar a amolecer (MATEUS, 2009).

Os termoplásticos, se sujeitos a temperaturas superiores ao ponto de amolecimento, podem moldar-se plasticamente e voltar ao estado sólido. O epóxi se adapta facilmente à argamassa, com isto é muito utilizado em trabalhos de reparos de estruturas de concreto, juntas de concretagem e na ligação de elementos pré-fabricados. Ele possui alta resistência mecânica como tração, flexão, compressão, resistência ao choque, resistência ao desgaste e durabilidade. Estas características dependem tanto do polímero como dos fatores tecnológicos de obtenção do produto (MATEUS, 2009).

Os epóxis podem ser relativamente duros, rígidos, leves e resistentes. Porém, seu comportamento em relação ao calor é um ponto negativo, pois com a variação da temperatura ele pode dilatar-se e contrair-se. Ainda, ele também pode apresentar baixa permeabilidade ao vapor de água.

A resina epóxi é o produto da mistura de uma carga mineral e um endurecedor. A resina e o endurecedor separados são estáveis e uma vez misturados entre si, inicia-se uma reação exotérmica dando origem a um material sólido. Mateus (2009) cita que as diferentes formulações permitem características diferentes para as mais diversas aplicações. Alguns exemplos são: a resistência mecânica a tração, que pode variar entre 30 e 95 MPa; a resistência à compressão, entre 120 e 210 MPa; o módulo de elasticidade, que pode variar desde 1,5 GPa e 35 GPa; e o coeficiente de dilatação térmica, que geralmente varia entre 4 e $5,8 \times 10^{-5} ^\circ\text{C}$.

As formulações em epóxi são excelentes em relação à resistência ao ataque químico e, em geral, quanto maior for a resistência à compressão, maior será a resistência ao ataque químico.

As resinas epoxídicas devem atender à Norma NBR 14050:1998 – Sistemas de revestimento de alto desempenho, a base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho- Procedimento.

2.2.2. Resina à base de Poliuréia Híbrida Aromática

De acordo com Silva (2012) a poliuréia foi introduzida no mercado nos EUA em 1987 e, devido a suas elevadas propriedades químicas, físicas e alta resistência e durabilidade, é muito utilizada no mercado na indústria da construção em pisos, recobrimentos, etc. A poliuréia é basicamente composta por duas partes: o Isocianato (-NCO) e a amina (-NH₂ ou -NH), conforme estrutura apresentada na Figura 1 – Composição da Poliuréia

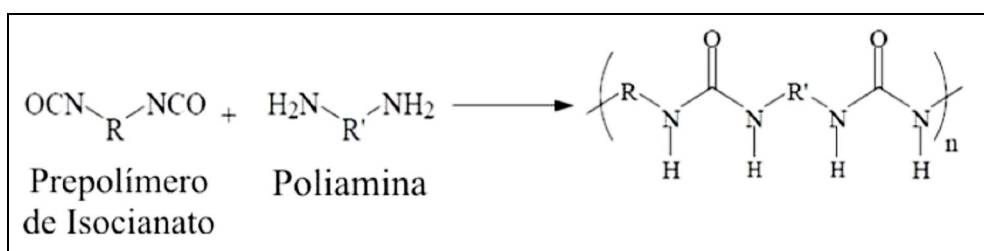


Figura 1 – Composição da Poliuréia

Quando do tipo aromática, a poliuréia tende a amarelar quando exposta aos raios UV, necessitando de revestimento se o fator estético for relevante. Já a poliuréia alifática é estável aos raios UV e, por isto, possui um custo mais elevado.

De acordo com Ambar (s.d.) a membrana formada após a aplicação possui elevado alongamento e elevadas resistências mecânicas e químicas, que

tornam tal material uma solução ótima para áreas de difícil acesso e de necessidades diferenciadas. Ainda, possui excelente aderência à maioria dos materiais utilizados na construção civil.

A aplicação é realizada por meio de máquina de spray de alta pressão (do tipo airless) com controle de temperatura, em movimentos constantes, atingindo-se espessuras finas e precisas. Destaca-se que é necessária mão de obra especializada para a sua aplicação.

Observa-se que produto utilizado neste estudo, a Poliuréia Híbrida Aromática (ViaPoliUréia 200 PH) ã atende à NBR 15487:2007 ã Membrana de poliuretano para impermeabilização, a qual é a norma de referência para este tipo de produto.

2.2.3. Resina de base Poliuretano Vegetal

De acordo com Raimundo (2014) devido a diversas combinações de propriedades químicas, por exemplo, os diversos tipos de isocianatos aromáticos (amarelam se exposto a luz) e alifáticos (produtos estáveis, não amarelam se expostos a luz), e devido à diversidade de propriedades físicas, o poliuretano tem sido cada vez mais utilizado na indústria.

O poliuretano (PU) utilizado na indústria foi desenvolvido por Otto Bayer e colaboradores em 1937. Este material é muito utilizado para a fabricação de espumas rígidas e flexíveis, adesivos, tintas, etc. As resinas a base de PU são utilizadas em diversos segmentos industriais devido a sua grande variação de densidade e versatilidade de aplicação (SILVA, 2003).

O uretano (ou uretana) é o produto da reação química entre um grupo isocianato e um grupo hidroxila. Na formação de PUôs, a maioria das reações ocorre por adições à dupla ligação C=N do isocianato (RAIMUNDO, 2014).

Polióis utilizados na produção de poliuretanos possuem massa molar relativamente baixa, normalmente entre 500 a 8000. A estrutura química,

funcionalidade e massa molar dos polióis, influenciam nas propriedades dos poliuretanos como os poliuretanos derivados de poli (óxido de etileno) glicol e poli (óxido de propileno) glicol, são de maneira geral, mais flexíveis e macios enquanto os obtidos através de poli (adipato de etileno) com hidroxila terminal, geralmente são mais rígidos e possuem menor resistência à luz solar.(RAIMUNDO, 2014).

O óleo de mamona é matéria prima na preparação de poliálcool poliéster. Este óleo é solúvel em álcool e em outros solventes como éter, clorofórmio e ácido acético glacial. A reação de polimerização entre um isocianato e um álcool gera uma reação exotérmica, possui velocidade de reação moderada e normalmente é catalisada por uma base. Esta reação não libera subprodutos e a proporção molar entre os reagentes deve ser observada com cuidado, pois o excesso de um deles pode causar reações laterais comprometendo a qualidade e o tempo de vida útil do produto acabado.

A polimerização dos poliuretanos ocorre quando um composto com dois ou mais isocianatos em sua estrutura reage com um poliálcool (SILVA, 2003), conforme reação apresentada na Figura 2: Polimerização dos Poliuretanos.

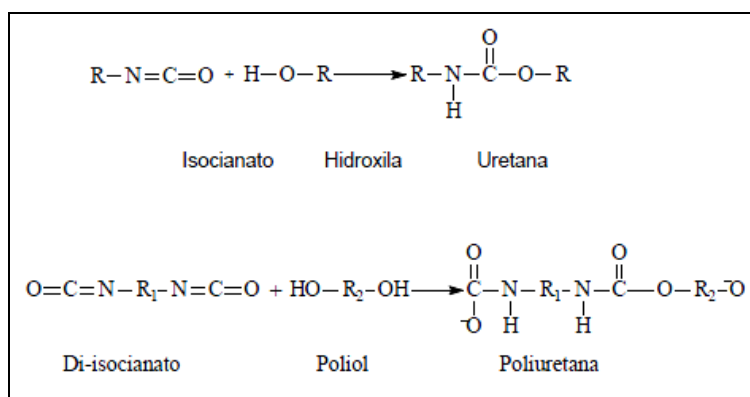


Figura 2: Polimerização dos Poliuretanos

Segundo Raimundo (2014) a configuração da cadeia poliuretana pode variar entre regular ou aleatória, linear ou cruzada, assim determinando as

propriedades físicas do material sintetizado, definindo os produtos com propriedades específicas.

As resinas de poliuretano podem ser derivadas do petróleo e de óleos vegetais, podendo ser mono-componentes ou bi-componentes. O poliuretano vegetal apresenta toxicidade zero, é biodegradável e não libera gases, entre outras características. Silva (2003) cita que a resina de poliuretano apresenta-se na forma bi componente constando de um poliol e um pré-polímero, possui baixo peso específico, baixo coeficiente de condutividade térmica e alta resistência mecânica, oferecendo facilidade de montagem e processamento.

A resina de poliuretano pode ser aplicada de várias formas, uma das mais comuns é através de rolo. O poliuretano é muito utilizado para isolamento térmico de tubulações, isolamento de telhas, tanques, aquecedores e outros.

Tal produto deve atender à norma NBR 15487:2007 – Membrana de poliuretano para impermeabilização.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o estudo do programa experimental foram selecionados dentre as várias opções no mercado três produtos da empresa VIAPOL que representam opções nãoecologicamente corretas, por não apresentarem base solvente.

Serão comparadas propriedades comuns às películas analisadas e que estão diretamente ligadas às respectivas eficiências como impermeabilizantes e protetores químicos.

Realizou-se a moldagem de 9 películas cada para os três materiais, os quais foram submetidos a soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) com concentrações de 0,024%, 5%, 20% e 50% e valores de pH de 3,0; 0,6; 0 e -1,0, respectivamente. As películas foram avaliadas em períodos de 30 e 60 dias após a imersão.

Os ensaios foram baseados na Norma ASTM-G20-10 - Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings.

Ressalta-se que, para a análise das películas, optou-se por moldar somente o produto sobre cartolina siliconada, pois o objetivo é de analisar a resistência físico-química das películas, não havendo interferência nos resultados devido à deficiência no sistema de aplicação da película de revestimento de proteção.

Os subitens seguintes apresentam características técnicas dos produtos utilizados, bem como detalhes sobre a moldagem das películas e as soluções de imersão.

3.1. MOLDAGEM DAS PELÍCULAS

3.1.1. Resina Epoxídica (Viapoxi Coat)

O produto utilizado foi Viapoxi Coat, trata-se de uma resina bi componente de epóxi poliamida, flexibilizada, isento de solventes, impermeável

à efluentes e ao vapor, de excelente resistência química, mecânica e à abrasão, compatível com estruturas de concreto, argamassa e como revestimento anticorrosivo para estrutura metálica. Pode ser aplicado em superfícies horizontais e inclinadas, possui alta aderência, não apresenta retração após curado e possui alta flexibilidade. Ideal para ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e tanque fechado em concreto apoiado no solo onde há tratamento anaeróbio do esgoto e consequente formação do ácido sulfúrico biogênico.

As características técnicas da Resina Epoxídica são apresentadas na Tabela 1.

Resina Epoxídica (Viapoxi Coat)	
Características	Valor
Teor de sólidos (% em massa):	minimo 99 %
Densidade:	1,63 g/cm ³
Tração na ruptura (ASTM D-412):	8,4 Mpa
Alongamento da ruptura, sem reforço:	27%
Estabilidade ao calor (Max.)	até 90°C
Flexibilidade a baixa temperatura	N/A
Tempo de cura da película total	7 dias
Pot Life (tempo de uso da mistura) a 25 °C	2 horas

Tabela 1 i Características técnicas da Resina Epoxídica

A Resina Epoxídica é composta por 2 componentes, sendo o componente ãAò a resina epóxi e o componente ãBò o endurecedor.

O componente ãAò foi misturado com agitador elétrico de baixa rotação para ser homogeneizado, assim também o componente ãBò. Após a homogeneização dos dois componentes, foi feita a mistura entre os componentes de aproximadamente 5 minutos para a completa homogeneização conforme orientações do fabricante. O produto foi aplicado com rolo de lã em 2 (duas) demãos diretamente sobre o molde com intervalo de 6 horas entre demãos, com um consumo de aproximadamente 1,0 kg/m². O desmolde e corte das películas só ocorreram após 7 dias da cura completa do produto.

3.1.2. Resina a base de poliuréia híbrida aromática (ViaPoliUréia 200 PH)

A Poliuréia Híbrida Aromática foi aplicada por spray de alta pressão (tipo airless) com controle de temperatura. O sistema consiste 100% de polímeros, sem solventes, que forma uma membrana impermeável após a aplicação, possuindo elevado alongamento, alta resistência mecânica, química e térmica, com cura ultra-rápida e é isento de solventes.

Muito utilizada para impermeabilização de áreas de difícil acesso, possui alta aderência e é de fácil aplicação, sendo recomendada local onde a velocidade de aplicação é crítica.

Este produto é muito utilizado para indústria de alimentos, centros de distribuição, câmaras frigoríficas, impermeabilização de coberturas e lajes, tanques de tratamentos de águas e efluentes, entre outros.

As características técnicas da Poliuréia Híbrida Aromática são apresentadas na Tabela 2

Poliuréia Híbrida Aromática (ViaPoliUréia 200 PH)	
Características	Valor
Teor de sólidos (% em massa):	100%
Densidade:	1,21 kg/m ³
Tração na ruptura (ASTM D-412):	resistencia ao rasgo:30 N/mm
Alongamento da ruptura, sem reforço:	200%
Estabilidade ao calor (Max.)	80°C
Flexibilidade a baixa temperatura	- 10°C
Tempo de cura da película total	7 dias
Pot Life (tempo de uso da mistura) a 25 °C	tempo de gel : 5 a 12 segundos

Tabela 2 - Características técnicas da Poliuréia Híbrida Aromática

A parte 1 da Poliuréia Híbrida Aromática foi homogeneizada e colocada no equipamento de aplicação de 1500 psi e temperaturas entre 50° a 70°.

O produto foi aplicado diretamente no molde em movimentos constantes em diversas passadas de no máximo 0,5mm cada. O consumo foi de aproximadamente 1,2 kg/m²/mm.

3.1.3. Resina a base de poliuretano vegetal (Vitpoli Eco)

Produto bi componente, elástico de base de Poliuretano Vegetal, isento de solventes com baixo teor de VOC com excelente resistência química e mecânica, suporta exposição a raios UV e é resistente ao vapor d'água. Indicado para impermeabilização de reservatório de água potável, ETEs e ETAs.

As características técnicas da resina de Poliuretano Vegetal são apresentadas na Tabela 3.

Poliuretano Vegetal (Vitpoli Eco)	
Características	Valor
Teor de sólidos (% em massa):	mínimo 99,0
Densidade:	1,4 - 1,6 g/cm ³
Tração na ruptura (ASTM D-412):	4 MPa
Alongamento da ruptura, sem reforço:	70%
Estabilidade ao calor (Max.)	Resiste a picos de temperatura até 90°C
Flexibilidade a baixa temperatura	Resistente até -3 °C
Tempo de cura da película total	Mínimo de 7 dias
Pot Life (tempo de uso da mistura) a 25 °C	20 - 40 minutos

Tabela 3 – Características Técnicas do Poliuretano Vegetal

O componente A foi homogeneizado e misturado ao componente B até sua completa homogeneização, segundo recomendações do fabricante. O produto foi aplicado diretamente sobre molde, em 2 (duas) demãos, com consumo aproximadamente 2,0 kg/m² e a secagem completa em 7 dias.

3.2. PREPARAÇÃO DO ENSAIO

Após sete dias da moldagem conforme descrito no item 3.1, cortaram-se as películas nas dimensões 9 cm (comprimento) x 6 cm (largura), com total de 9 películas de cada material. Conforme demonstra no Tabela 4, uma amostra de cada produto foi mantida íntegra para referência de comparação.

Soluções	pH	Avaliação	Quantidade de películas		
			EPÓXI	POLIURÉIA	POLIURETANO
0,024%	3,0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
5%	0,6	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
20%	0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
50%	-1,0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
Referência	-	-	1	1	1
TOTAL	-	-	9	9	9

Tabela 4 - Esquema de leituras e quantidade de películas moldadas

Os recipientes de ensaio foram selecionados de maneira a atender as especificações da norma de referência, a qual diz que deve-se utilizar um recipiente de ensaio tubular, com tampa, com comprimento máximo de 14 cm e diâmetro mínimo de 6,5 cm. Ainda, atenderam-se as solicitações de boa lacração do recipiente e que o mesmo possuísse altura suficiente para fornecer uma exposição adequada para ambos os estados: imersão (líquidos) e de vapores de gases (atmosfera) dos reagentes.

A Figura 3 apresenta o recipiente padrão especificado pela Norma ASTM-G20-10, o qual foi adotado neste trabalho.

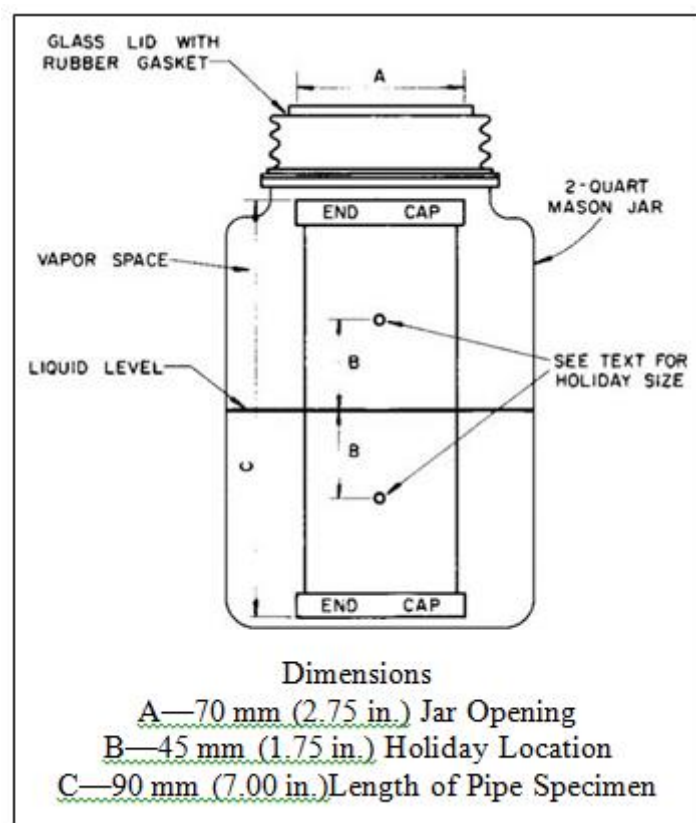


Figura 3 i Recipiente para a imersão das películas segundo a norma ASTM-G20-10

Submeteram-se as películas ao agente químico por imersão e aos vapores do gás à temperatura ambiente por 30 e 60 dias, tendo sido avaliadas quanto a alterações nas suas características físicas-químicas.

3.3. SOLUÇÃO DE IMERSÃO

Para solução das concentrações foi efetuada a diluição de acordo com o descrito no item 2.1.4. Ainda, com altas concentrações, objetivou-se acelerar os danos, visto o curto espaço de tempo para realização dos ensaios.

Destaca-se que valores superiores de pH 3,0 não foram analisados por já serem de condição de uso corrente dos produtos. Ainda, supõe-se, que não seria possível observar danos nos materiais dentro do período de 60 dias, pois tratam-se de produtos muito resistentes quimicamente.

A Tabela 5 e o Gráfico 1 apresentam as soluções de imersão utilizados para o programa experimental de acordo com suas concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e os respectivos valores de pH.

CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO	pH
50%	-1,0
20%	0
5%	0,6
0,024%	3,0

Tabela 5 i Características das soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de imersão

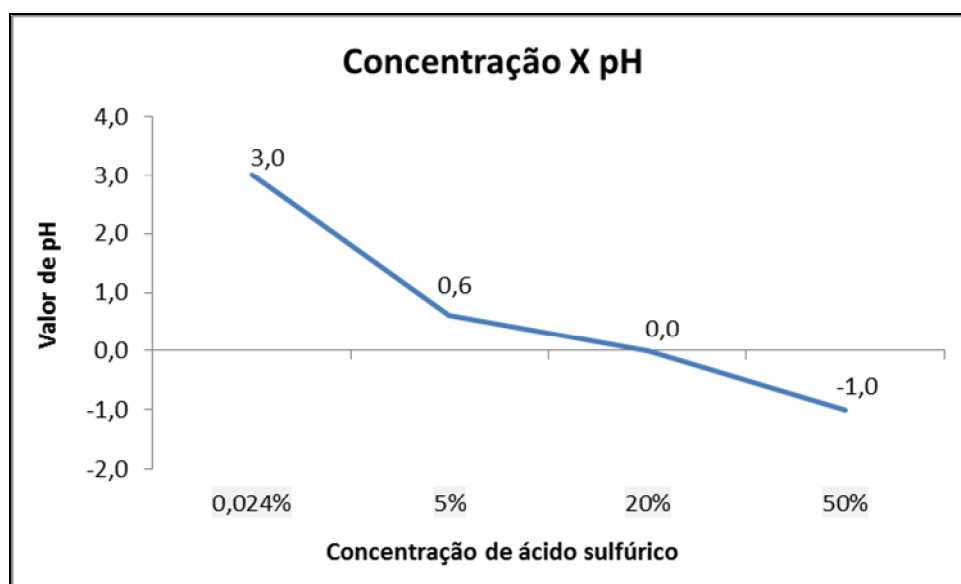


Gráfico 1i Concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) X pH.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVA

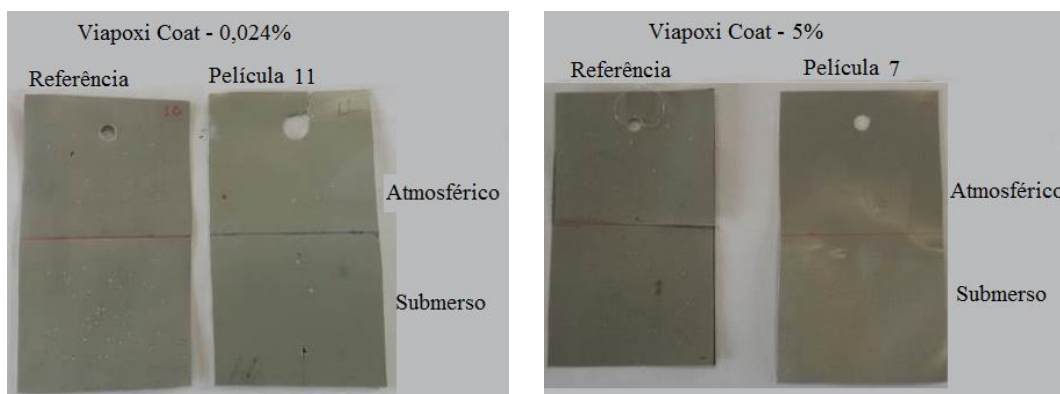
Neste item somente serão apresentados os resultados das análises qualitativa das películas ensaiadas em 30 e 60 dias, submetidas às soluções de 0,024%, 5%, 20% e 50% e seus respectivos pHs.

4.1.1. Leitura do ensaio de 30 dias de laboratório

Neste item serão apresentados os comportamentos das películas ensaiadas em 30 dias, submetidas às soluções de 0,024%, 5%, 20% e 50%.

4.1.1.1. Resina Epoxídica (Viapoxi Coat)

Para a película 11 (Foto 3-A) submetida à concentração de 0,024% observou-se que a área submetida a imersão houve uma pequena alteração de cor, não houve deformação e também não ocorreu alteração das características físico-químicas. Já na película 7 (Foto 3-B) submersa a concentração de 5% observou-se que houve uma pequena alteração de cor e deformação ocorrendo o enrijecimento do produto.



A

B

Foto 3 ĩ Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 30 dias (A e B).

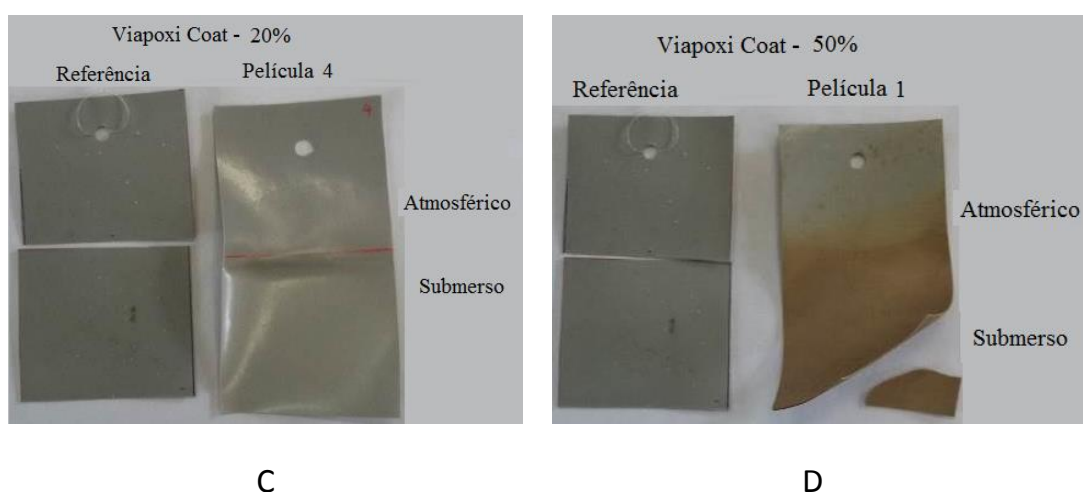


Foto 4 i Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 30 dias (C e D).

No caso da película 4 (Foto 4-C) submetida à concentração de 20% observou-se que houve uma pequena alteração de cor e deformação ocorrendo enrijecimento e alteração das características físicas-químicas do produto. Na película 1 (Foto 4-D) submetida na concentração de 50% observou-se que houve considerável alteração de cor cinza para uma cor marrom e uma deformação devido ao enrijecimento, ocorrendo excessiva alteração das características físico-químicas.

Na Tabela 6 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

RESINA EPOXÍDICA (VIAPOXI COAT)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
30 DIAS	0,024% (pH = 3,0)	atm sub	X			
	5% (pH = 0,6)	atm sub	X	X	X X	X
	20% (pH = 0)	atm sub	X	X	X X	X
	50% (pH = -1,0)	atm sub	X X		X X	X X

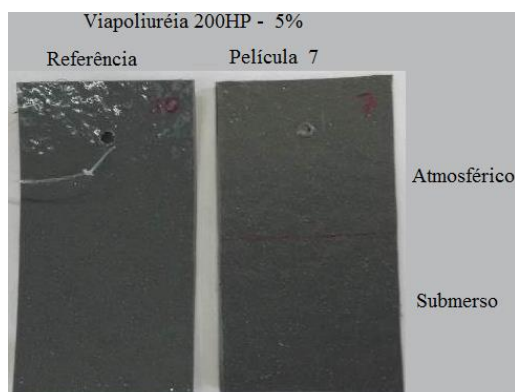
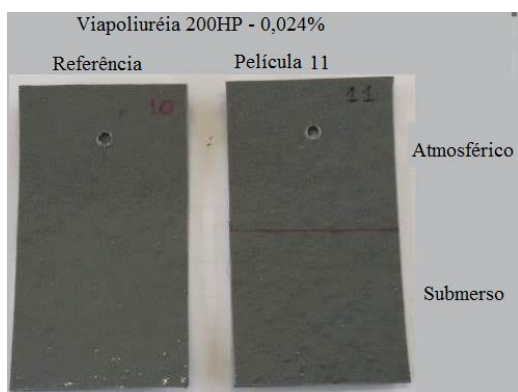
X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 6 ï Análise qualitativa da Resina Epoxídica (30 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e na Tabela 6, que quanto maior a concentração e sua exposição direta houve grande ataque químico no produto comprometendo seu desempenho.

4.1.1.2. Resina de Poliuréia Híbrida Aromática (Viapoliuréia 200 PH)

Para as películas 11 (Foto 5-A) e 7 (Foto 5-B) submetidas às concentrações de 0,024% e 5% observou-se que não ocorreu alteração de cor e deformação, tanto na área de imersa como na área acima da solução.

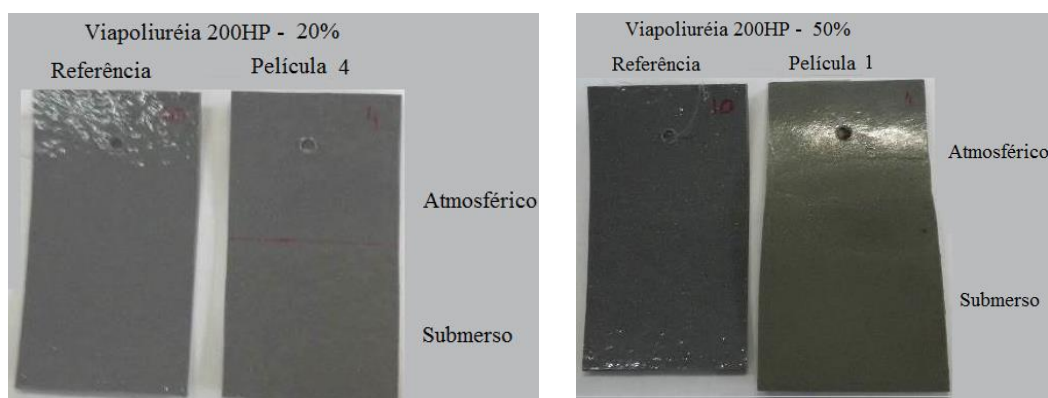


A

B

Foto 5 ĩ Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromática aos 30 dias (A e B).

Na película 4 (Foto 6-C) submetida a concentração de 20% observou-se que ocorreu uma pequena alteração de cor cinza para uma amarelo claro e não houve deformação. Já na película 1 (Foto 6-D) submetida a concentração de 50% observou-se que houve alteração de cor e deformação excessiva, ocorrendo inchamento do produto.



C

D

Foto 6 ĩ Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromática aos 30 dias (C e D).

Na Tabela 7 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

POLIURÉIA HÍBRIDA AROMÁTICA (VIAPOLIURÉIA 200 PH)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
30 DIAS	0,024% (pH = 3,0)	atm sub				
	5% (pH = 0,6)	atm sub				
	20% (pH = 0)	atm sub				
	50% (pH = -1,0)	atm sub	X X	X	X	

X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 7 ĩ Análise qualitativa na Poliuréia Híbrida Aromática (30 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e na Tabela 7, que quanto maior a concentração e sua exposição direta a soluções maior o ataque químico aos produtos e mudanças de suas características físico-químicas.

4.1.1.3. Resina de Poliuretano Vegetal (Vitpoli Eco)

Para as películas 11 (Foto 7-A) e 7 (Foto 7-B) submetidas às concentrações de 0,024% e 5% foi observado que não ocorreu nenhuma alteração de cor e deformação tanto na área submersa quanto na área acima da solução.

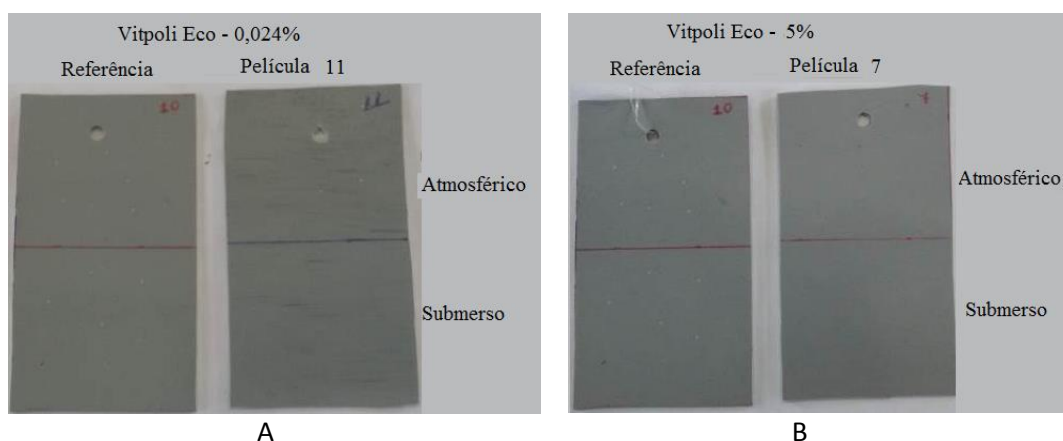


Foto 7 i Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 30 dias (A e B).

Na película 4 (Foto 8-C) submetida à concentração de 20% observou-se que não houve alteração de cor, deformação e alteração das características físico-químicas. Já na película 1 (Foto 8-D) submetida a concentração de 50% ocorreu alteração de cor cinza para verde e não houve deformação.

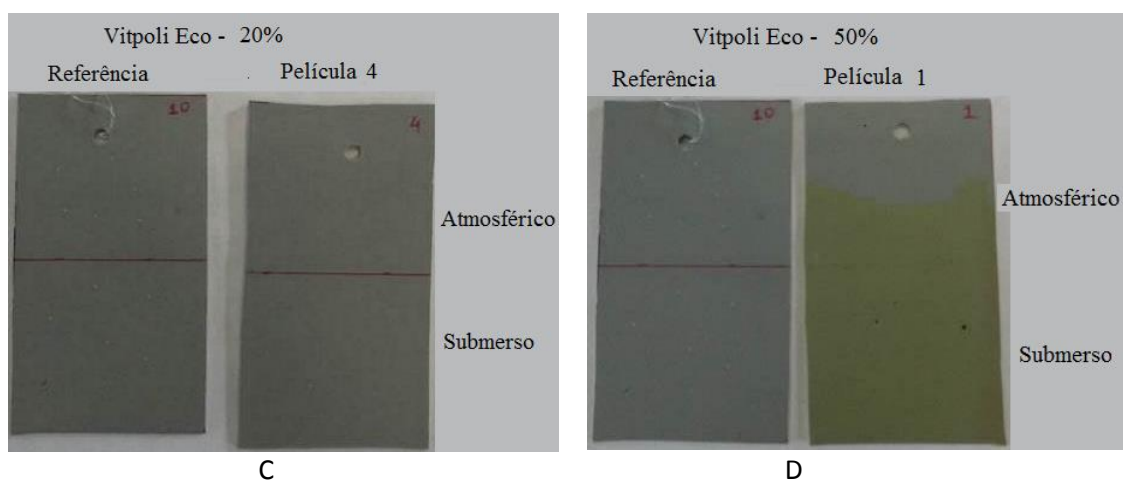


Foto 8 i Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 30 dias (C e D).

Na Tabela 8 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

POLIURETANO VEGETAL (VITPOLI ECO)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
30 DIAS	0,024 % (pH = 3,0)	atm sub	X			
	5 % (pH = 0,6)	atm sub				
	20 % (pH = 0)	atm sub				
	50 % (pH = -1,0)	atm sub	X X			

X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 8 ã Análise qualitativa da Resina de Poliuretano Vegetal (30 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e na Tabela 8 que o produto tem boa resistência química com exposição direta ou indireta a que foram submetidas. Porém quando submetido a uma concentração de 50% o produto apresentou somente alteração da cor (pigmentação).

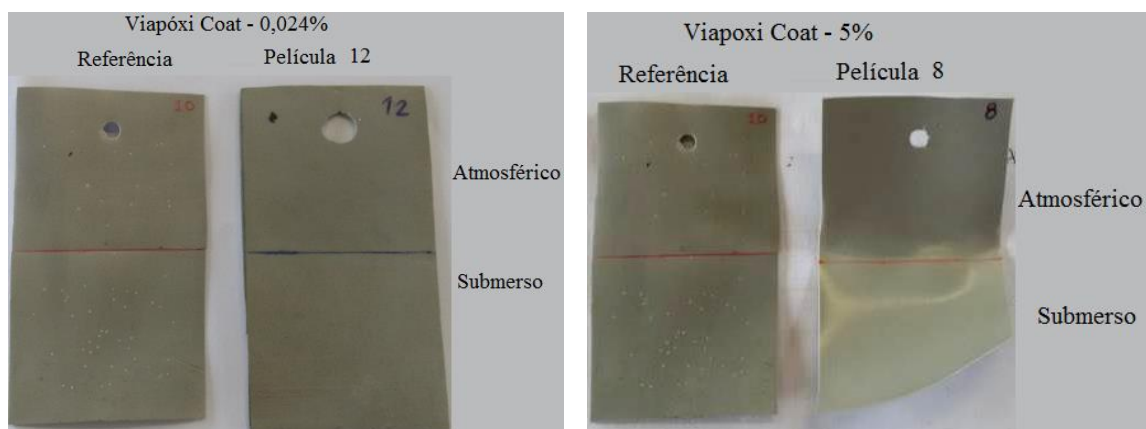
4.1.2. Leitura do Ensaio de 60 dias de laboratório

Neste item serão apresentados os comportamentos das películas ensaiadas em 60 dias, submetidas às soluções de 0,024%, 5%, 20% e 50%.

4.1.2.1. Resina Epoxídica (Viapoxi Coat)

Para a película 12 (Foto 9-A) submetida à concentração de 0,024% observou-se que a área submetida a imersão, houve não houve alteração de cor, não houve deformação e também não ocorreu alteração das características físicas. Na película 8 (Foto 9-B) submersa a concentração de 5% observou-se que

ocorreu uma pequena alteração de cor cinza para cinza claro e deformação ocorrendo o enrijecimento.

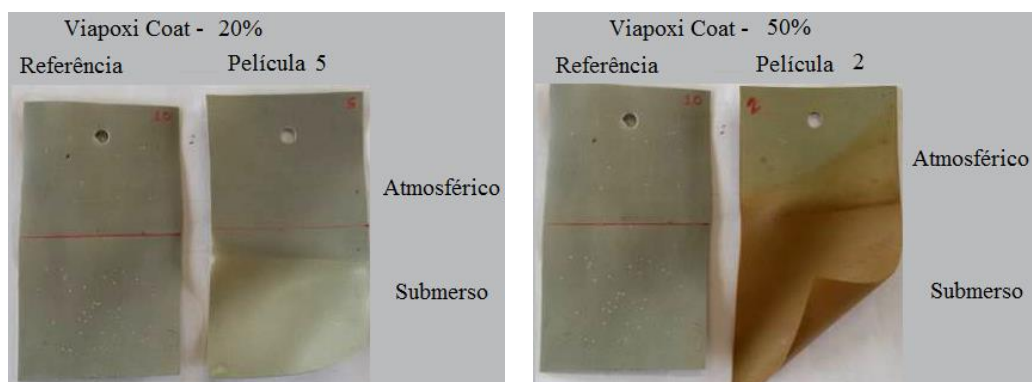


A

B

Foto 9 i Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 60 dias (A e B).

Já na película 5 (Foto 10-C) submetida à concentração de 20% observou-se que houve uma pequena alteração de cor cinza para um cinza claro e deformação ocorrendo enrijecimento. Na película 2 (Foto 10-D) submetida na concentração de 50% observou-se que ocorreu considerável alteração de cor cinza para cor marrom e deformação excessiva devido ao enrijecimento do produto.



C

D

Foto 10 i Comparação das películas de Resina Epoxídica aos 60 dias (C e D).

Na Tabela 9 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

RESINA EPOXÍDICA (VIAPOXI COAT)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
60 DIAS	0,024 % (pH = 3,0)	atm		X	X	
		sub	X		X	X
	5 % (pH = 0,6)	atm		X	X	
		sub	X		X	X
	20 % (pH = 0)	atm		X	X	
		sub	X		X	X
	50 % (pH = -1,0)	atm	X		X	X
		sub	X		X	X

X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 9 i Análise qualitativa na Resina Epoxídica (60 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e na Tabela 9 que após 60 dias em exposição direta as soluções de maior concentração, no caso de 20% e 50%, houve maior ataque químico ao produto e mudanças em suas características físico-químicas em relação às películas ensaiam em 30 dias.

4.1.2.2. Resina de Poliuréia Híbrida Aromática (Viapoliuréia 200 PH)

Para as películas 12 (Foto 11-A) e 8 (Foto 11-B) submetidas às concentrações de 0,024% e 5% observou-se que não ocorreu alteração de cor e deformação, tanto na área de imersa como na área acima da solução.

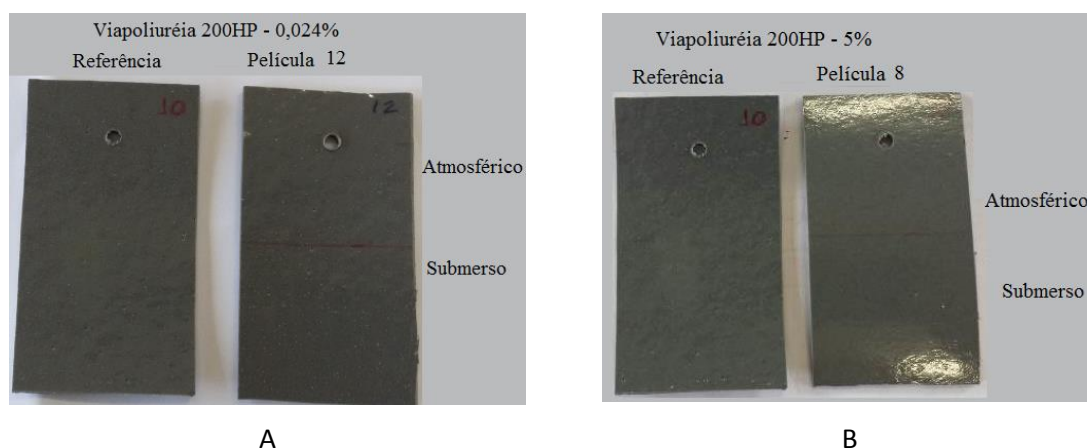


Foto 11 ĩ Comparação das películas da Poliuréia Híbrida Aromática aos 60 dias (A e B).

Na película 5 (Foto 12-C) submetida a concentração de 20% observou-se que ocorreu uma pequena alteração de cor cinza para uma amarelo claro, não houve deformação e alteração da película. Já na película 1 (Foto 12-D) submetida a concentração de 50% observou-se que houve alteração de cor e deformação excessiva, ocorrendo inchamento do produto na área de imersão.

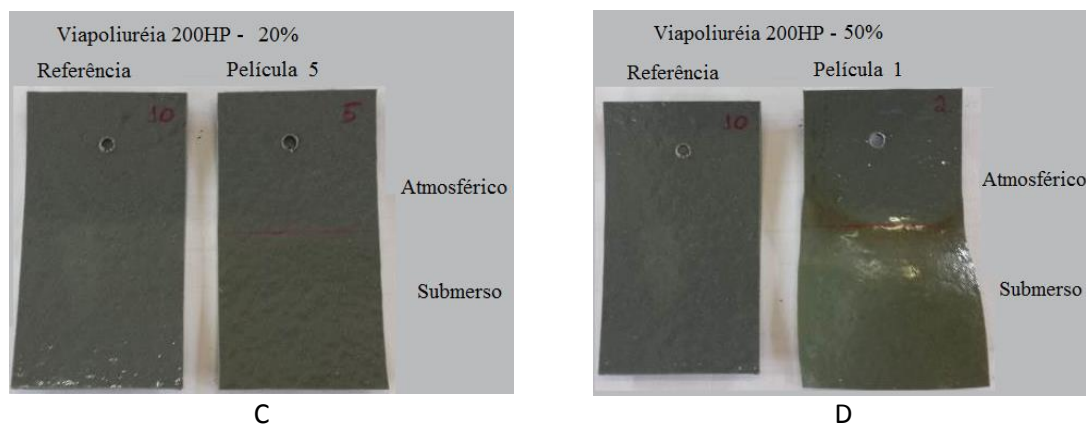


Foto 12 ĩ Comparação das películas de Poliuréia Híbrida Aromáticas aos 60 dias (C e D).

Na Tabela 10 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

POLIURÉIA HÍBRIDA AROMÁTICA (VIAPOLIURÉIA 200 PH)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
60 DIAS	0,024% (pH = 3,0)	atm sub				
	5% (pH = 0,6)	atm sub				
	20% (pH = 0)	atm sub	X			
	50% (pH = -1,0)	atm sub	X	X	X	

X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 10 i Análise qualitativa da Poliuréia Híbrida Aromática (60 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e na Tabela 10 que após 60 dias, que em concentrações maiores, no caso 50%, o produto não resistiu ao ataque químico, havendo deformação excessiva e inchamento quando submerso.

4.1.2.3. Resina de Poliuretano Vegetal (Vitpoli Eco)

As películas 12 (Foto 13-A) e 8 (Foto 13-B) submetidas às concentrações de 0,024% e 5% observou-se que não ocorreu nenhuma alteração de cor, deformação tanto na área submersa com na área atmosférica.

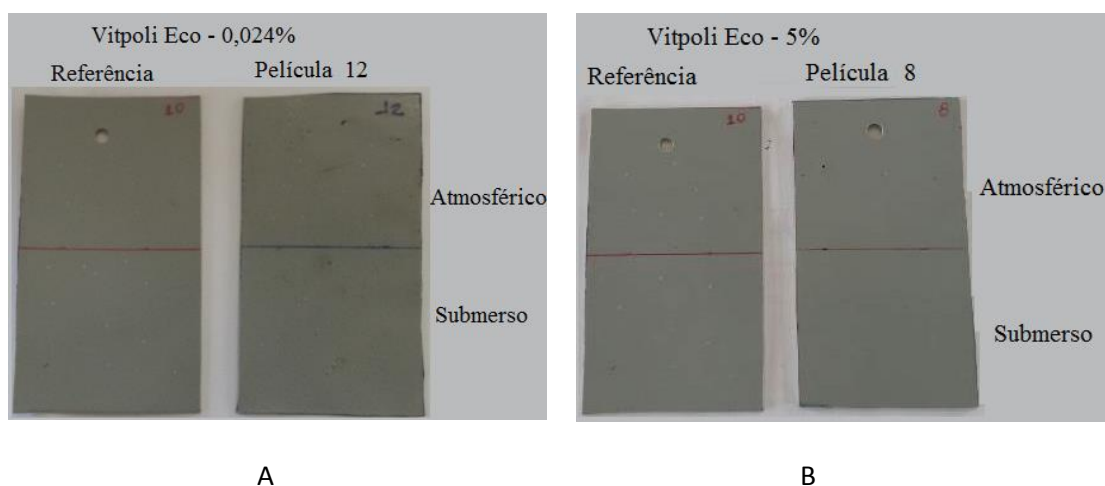


Foto 13 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 60 dias (A e B).

Na película 5 (Foto 14-C) submetida à concentração de 20% observou-se que não houve alteração de cor, deformação e alteração das características físico-químicas do produto. Já na película 2 (Foto 14-D) com concentração de 50% ocorreu alteração de cor cinza para uma cor amarelo e não houve deformação.

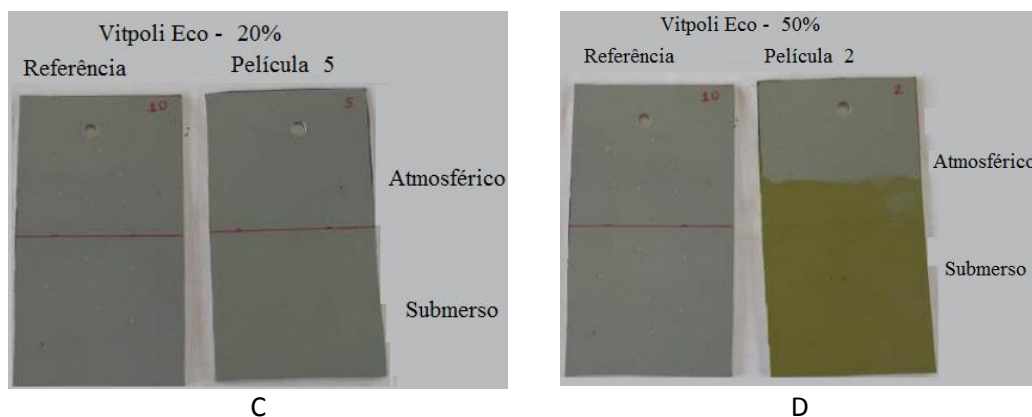


Foto 14 ï Comparação das películas de Poliuretano Vegetal aos 60 dias (C e D).

Na Tabela 10 são representadas as variações das características qualitativas, de acordo com os tipos de películas e variações de concentrações.

POLIURETANO VEGETAL (VITPOLI ECO)			ALTERAÇÃO DE COR	AMOLECIMENTO	DEFORMAÇÃO	ENRIJECIMENTO
PERÍODO	SOLUÇÃO	MEIO				
60 DIAS	0,024% (pH = 3,0)	atm sub	X			
	5% (pH = 0,6)	atm sub				
	20% (pH = 0)	atm sub	X			
	50% (pH = -1,0)	atm sub	X X			

X significa "com alteração" / atm - atmosférico / sub - submerso

Tabela 11 i Análise qualitativa do Poliuretano Vegetal (60 dias)

Observou-se nas películas apresentadas e Tabela 11 que após 60 dias, o produto tem boa resistência química com exposição direta ou indireta a que foram submetidas. Porém quando submetido a uma concentração de 50% o produto apresentou somente alteração da cor (pigmentação). O produto se manteve com as mesmas características de alteração dos ensaios de 30 dias.

4.2. RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA

Neste item serão apresentados os resultados das análises quantitativas das películas ensaiadas em 30 e 60 dias, submetidas às soluções de 0,024%, 5%, 20% e 50% e seus respectivos pHs.

Os resultados serão apresentados de acordo com as características técnicas dos produtos, ou seja: Variação de Massa, Espessura e Dureza Shore A e D.

A variação dos valores analisados (em porcentagem %) foram obtidos através da seguinte expressão:

$$\text{Variação \%} = \frac{\text{amostra final} - \text{amostra inicial}}{\text{amostra inicial}} \times 100$$

Portanto, quando a variação for positiva, representa um aumento dos valores característicos do produto e se o valor resultar em negativo significa que houve uma diminuição das características do produto.

4.2.1. Variação de Massa

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da variação de massa aos 30 e 60 dias.

VARIAÇÃO DE MASSA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,024%	5%	20%	50%
Resina Epoxídica	30	Atm	-1,23	2,06	3,02	7,26
		Sub	-1,23	2,06	3,02	7,26
	60	Atm	-1,46	0,83	2,05	7,57
		Sub	-1,46	0,83	2,05	7,57
Poliuretano Vegetal	30	Atm	0,73	0,65	0,00	0,00
		Sub	0,73	0,65	0,00	0,00
	60	Atm	1,31	0,26	0,00	-5,84
		Sub	1,31	0,26	0,00	-5,84
Poliuréia Híbrida Aromática	30	Atm	2,10	-4,80	1,36	45,50
		Sub	2,10	-4,80	1,30	45,50
	60	Atm	2,27	1,85	1,88	36,13
		Sub	2,27	1,85	1,88	36,13

atm - atmosfera / sub - submerso

Tabela 12 – Variação de massa em 30 e 60 dias

O gráfico 2 apresenta os valores das variações de massa apresentadas aos 30 dias e o gráfico 3 apresenta os valores da variação de massa aos 60 dias, como indicado na Tabela 12.

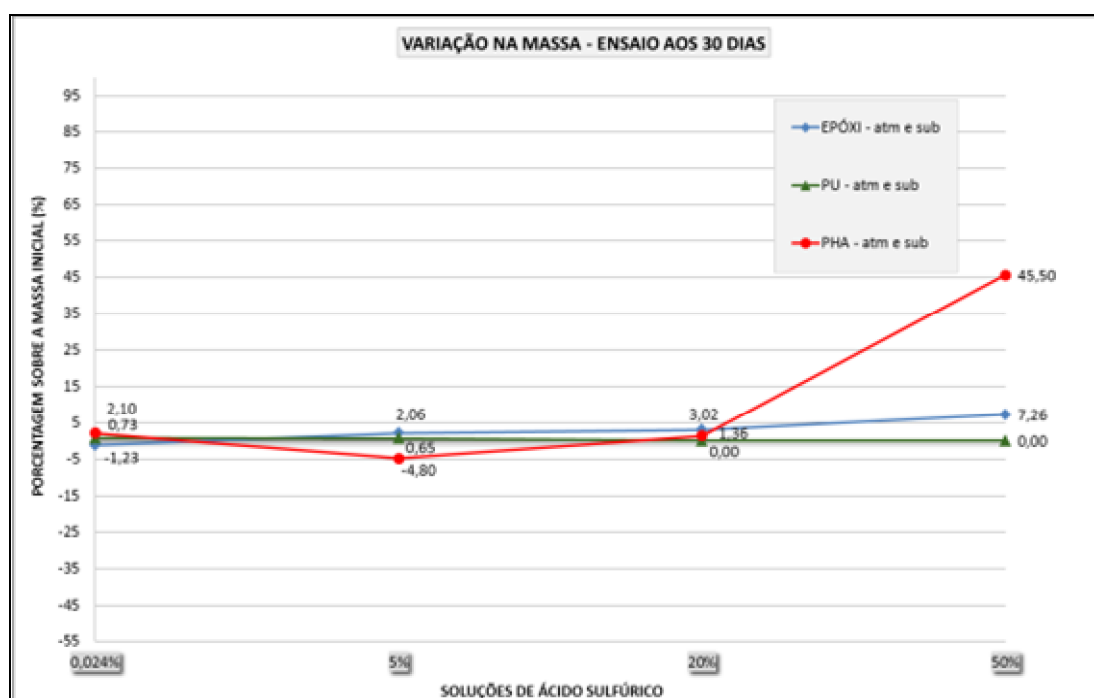


Gráfico 2 ã Variação de massa no período de 30 dias

Observa-se no gráfico 2 que houve pouca variação de massa das películas de Resina Epoxídica e Poliuretano Vegetal. Porém a Poliuréia Híbrida Aromática apresentou perda de massa na concentração de 5% e um ganho significativo na variação de massa da concentração de 50%.

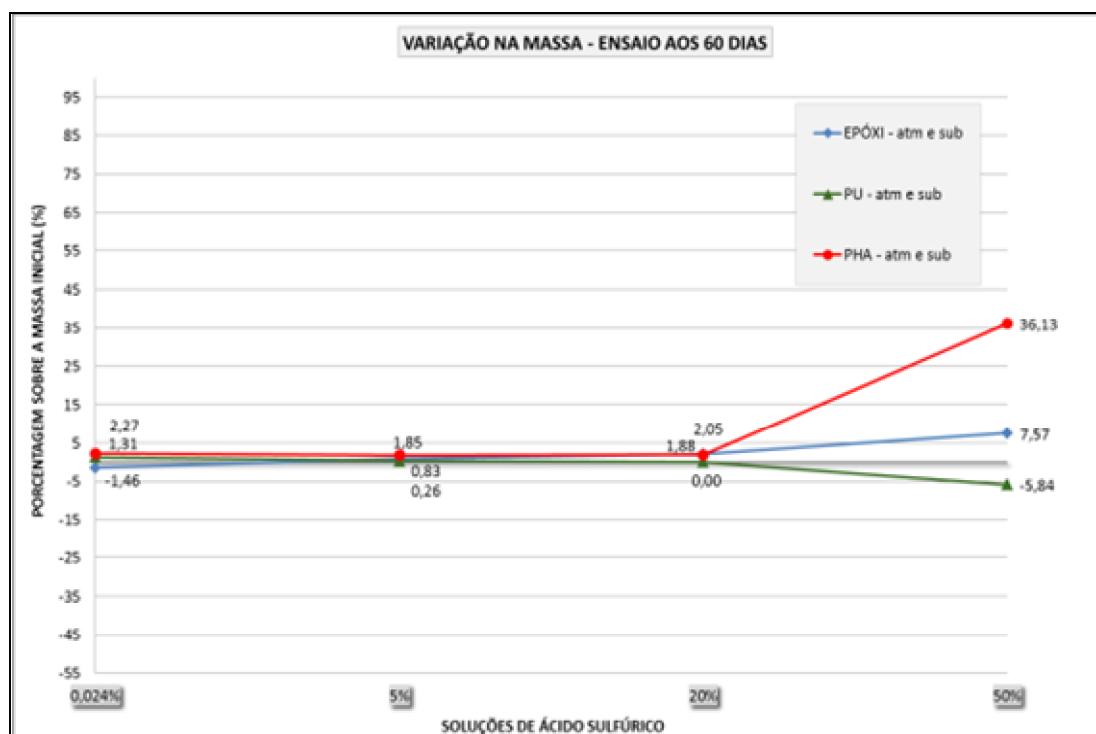


Gráfico 3i Variação de massa no período de 60 dias

Observa-se no gráfico 3 que houve pouca variação de massa das películas nas concentrações de 0,024%, 5% e 20%, porém na concentração de 50% a Poliuréia Híbrida Aromática apresentou ganho significativo na variação de massa e o Poliuretano Vegetal apresentou perda de massa.

4.2.2. Variação de Espessura

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da variação de espessura para as 3 (três) películas aos 30 e 60 dias.

ESPESSURA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,024%	5%	20%	50%
Resina Epoxidica	30	Atm	-6,84	-52,67	-41,33	-16,00
		Sub	20,00	-30,67	-32,00	33,33
	60	Atm	10,00	-36,00	-34,67	97,33
		Sub	10,00	-20,00	-49,33	21,33
Poliuretano Vegetal	30	Atm	-2,00	4,67	52,67	6,67
		Sub	5,33	-6,67	-4,00	-13,33
	60	Atm	16,67	22,67	8,67	14,67
		Sub	-8,33	40,00	25,33	16,00
Poliuréia Híbrida Aromática	30	Atm	7,69	-2,05	23,08	12,82
		Sub	2,56	-1,03	12,82	43,59
	60	Atm	0,00	7,69	7,69	51,79
		Sub	-5,13	2,56	2,56	49,23

atm - atmosfera / sub - submerso

Tabela 13 i Variação da espessura da Resina Epoxidica

No gráfico 4 apresentam os valores das variações de espessura no período de 30 dias e o gráfico 5 estão representados os valores das variações da espessura no período de 60 dias, como indicado na Tabela 13.

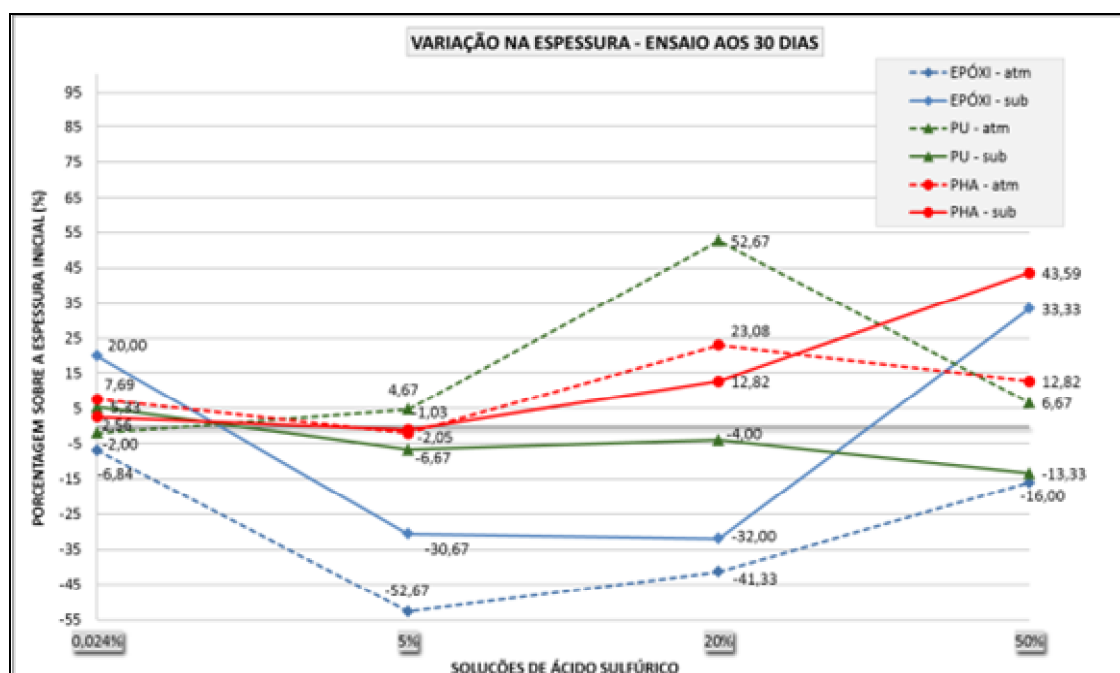


Gráfico 4 i Variação da espessura no período de 30 dias

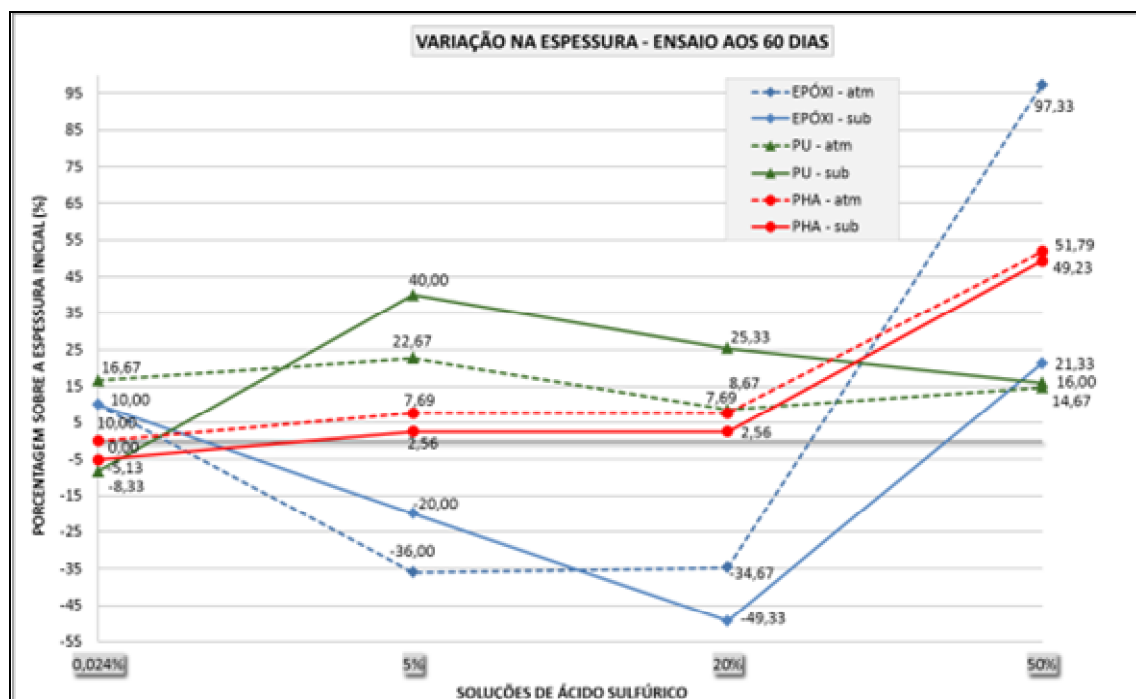


Gráfico 5 i Variação da espessura no período de 60 dias

Para análise da variação das espessuras das películas, não foi possível uma análise real devido a não uniformidade das películas na moldagem. Outro fator relevante na análise da medição é que as películas se deformaram principalmente na concentração de 50%, inviabilizando a obtenção de valores reais na medição de espessuras. Porém a Resina Epoxídica foi a que mais sofreu alterações em todas as concentrações e nos períodos de análise entre 30 e 60 dias.

4.2.3. Variação de Dureza

Na Tabela 14 são apresentados os resultados da variação de Dureza para as 3 (três) películas aos 30 e 60 dias.

Para as películas da Resina Epoxídica, por ser um material rígido, foi utilizado o ensaio de Dureza Shore D e para as películas da Poliuréia Híbrida Aromática e Poliuretano Vegetal por serem materiais flexíveis, foi utilizado o ensaio de Dureza Shore A.

DUREZA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,024%	5%	20%	50%
Resina Epoxídica	30	Atm	-12,62	3,47	5,78	-4,05
		Sub	-46,36	5,20	5,78	-4,05
	60	Atm	-12,62	-13,29	-16,76	-23,12
		Sub	-17,48	-20,81	-25,43	-24,28
Poliuretano Vegetal	30	Atm	-2,67	-1,11	-1,11	1,11
		Sub	-4,44	-1,11	-1,11	1,11
	60	Atm	0,00	-7,22	-3,33	-2,67
		Sub	33,33	-6,56	-5,56	-5,56
Poliuréia Híbrida Aromática	30	Atm	-9,18	1,02	1,02	0,00
		Sub	0,71	1,02	1,02	-20,41
	60	Atm	-8,16	-0,51	-9,18	-3,06
		Sub	-13,27	-3,67	0,71	-18,37

atm - atmosfera / sub - submerso

Tabela 14 i Variação da dureza nos períodos de 30 e 60 dias

No gráfico 6 estão representado os valores das variações de dureza no período de 30 dias e o gráfico 7 estão representados os valores das variações da dureza no período de 60 dias, como indicado na Tabela 14.

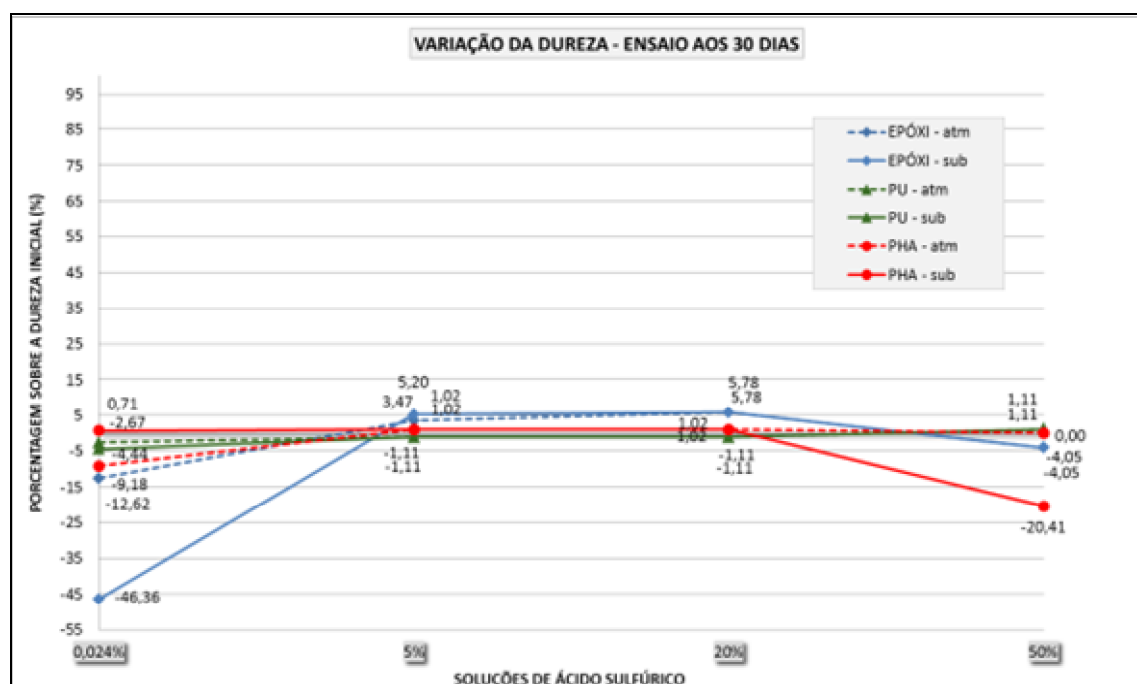


Gráfico 6 i Variação da dureza no período de 30 dias.

Observa-se no gráfico 6 que houve pequena variação de dureza das películas, porém para as películas de Resina Epoxídicas (concentração 0,024%) e Poliuréia Híbrida Aromática (concentração de 50%) houve uma perda considerável de dureza.

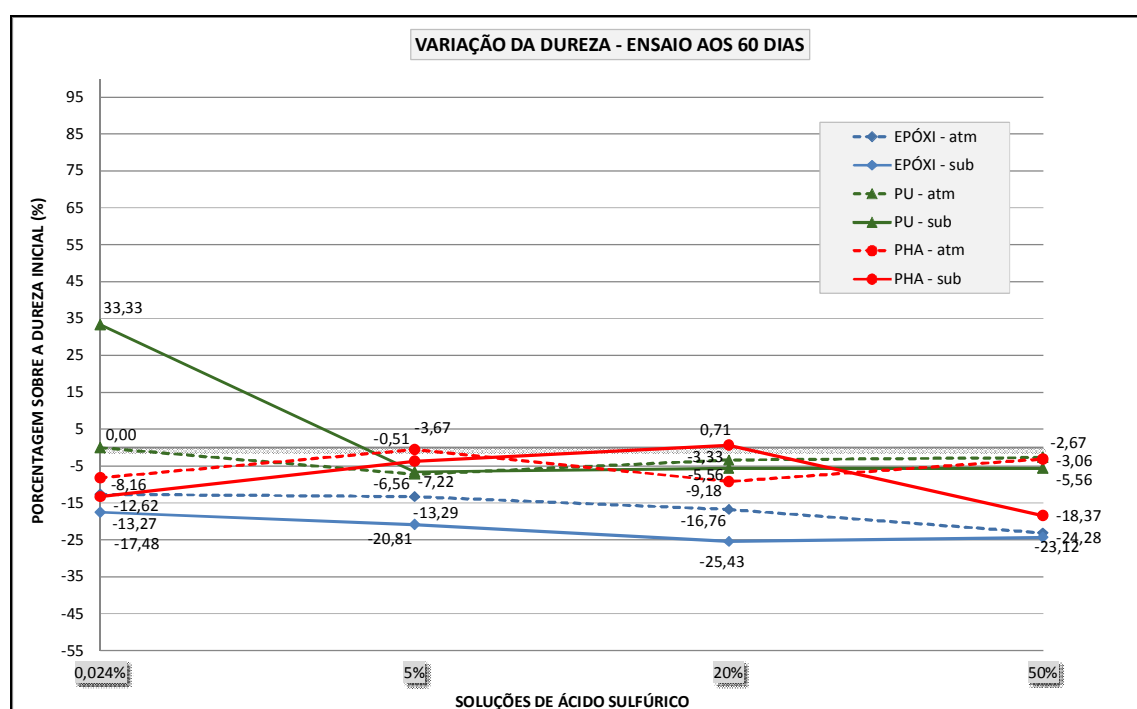


Gráfico 7 i Variação da dureza no período de 60 dias.

Observa-se no gráfico 7 que houve pequena variação de dureza das películas, porém para as películas de Resina Epoxídicas (concentração 0,024%) e Poliuréia Híbrida Aromática (concentração de 50%) houve uma perda considerável de dureza.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas considerações finais acerca do estudo experimental, bem como sugestões para trabalhos futuros, a fim de estender, aprofundar e aprimorar o presente trabalho.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de comparação de diferentes películas de proteção ao ataque do ácido sulfúrico em diversas concentrações foram atingidas, visto que concluíram-se os ensaios pretendidos. Desta forma, observou-se que:

a) Quanto ao aspecto qualitativo:

- Concentração 0,024% - Foi observada uma pequena alteração de cor somente para as películas a base de Resina Epoxídica aos 30 e 60 dias.
- Concentração 5% - Foi observada uma pequena alteração de cor e aparente enrijecimento somente para as películas a base de Resina Epoxídica aos 30 e 60 dias.
- Concentração 20% - As películas a base de Resina Epoxídica apresentaram alteração de cor, deformação e enrijecimento para 30 e 60 dias e as películas a base de Poliuréia Híbrida Aromática apresentaram leve alteração de cor amarelada para as duas idades.

- Concentração 50% - Para as idades de 30 e 60 dias as películas a base de Resina Epoxídica apresentaram grande alteração de cor, deformação e enrijecimento; As películas a base de Poliuréia Híbrida Aromática apresentaram inchamento e alteração de cor; As películas a base de Poliuretano vegetal apresentaram somente alteração de cor esverdeadas.

No aspecto qualitativo foi observado que, de acordo com o aumento da concentração de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e exposição direta (parte submersa e tempo de exposição), maior as alterações nas características das películas analisadas.

As películas a base de Resina Epoxídica apresentaram em todas as concentrações, maiores alterações em suas características, tais como alterações de cor, visíveis deformações e aparente enrijecimento. As películas a base de Poliuréia Híbrida Aromática apresentaram alterações significativas tal como inchamento da parte submersa somente para as maiores concentrações. As películas a base de Poliuretano Vegetal apresentaram apenas modificações de coloração na maior concentração (50%).

b) Quanto ao aspecto quantitativo:

- Concentração 0,024% - Para as idades de 30 e 60 dias as películas apresentaram pequenas variações de massa, entre -1,46% e 2,27% da massa inicial. Em relação a dureza, a variação ficou entre -46,36% para a Resina Epoxídica e 33,33% para o Poliuretano Vegetal.

- Concentração 5% - Para as idades de 30 e 60 dias as películas apresentaram pequenas variações de massa, entre 0,26% e 2,06% da massa inicial, somente a película a base de Poliuréia Híbrida Aromática apresentou um maior ganho de massa de 4,8%. Em relação a dureza, a variação ficou entre -7,22% e 5,2% somente a película a base de Resina Epoxídica apresentou perda de dureza de -20,81% na idade de 60 dias.
- Concentração 20% - Para as idades de 30 e 60 dias as películas apresentaram pequenas variações de massa, entre 0 % e 3,02% da massa inicial. Em relação a dureza, a variação ficou entre -9,18% e 5,78% somente a película a base de Resina Epoxídica apresentou perda de dureza de -25,43% na idade de 60 dias.
- Concentração 50% - Para as idades de 30 e 60 dias as películas apresentaram pequenas variações de massa, entre -5,84% e 7,57% da massa inicial, somente a película a base de Poliuréia Híbrida Aromática apresentou um maior ganho de massa de 45,5% aos 30 dias. Em relação à dureza, houve uma grande variação, as películas a base de Resina Epoxídica apresentaram perda de dureza entre -4,05% e -24,28%, as películas a base e Poliuréia Híbrida Aromática apresentaram perda de dureza entre 0% e -20,41% e as películas a base de Poliuretano Vegetal apresentaram variações entre -5,56% e 1,11%.

No aspecto quantitativo foi observado que, de acordo com o aumento da concentração de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e exposição

direta (parte submersa e tempo de exposição), maior as alterações nas características das películas analisadas.

As películas a base de Poliuréia Híbria Aromática apresentaram em todas as concentrações, maiores ganhos de massa principalmente quando submetido a maior concentração. A variação de dureza foi muito ampla, as películas que apresentaram menor variação nas maiores concentrações foram as de base de Poliuretano Vegetal, porém qualquer alteração tanto ganho quanto perda de dureza em relação a medição inicial é prejudicial no desempenho das películas, afetando a proteção da estrutura. A avaliação da variação de espessura não foi possível ser devido a deformação das películas e variação das espessuras na moldagem.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para os próximos trabalhos futuros e aperfeiçoamento do programa experimental os itens abaixo:

- a) Utilizar produtos de outros fabricantes para comparação de desempenho;
- b) Utilizar como estudo experimental outros produtos de proteção ao ataque químico;
- c) Ensaiar outros tipos de meios agressivos em outras concentrações;
- d) Ensaiar sistemas de revestimento de proteção em diversos tipos de estruturas com o intuito de apontar falhas e propostas de melhorias na aplicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE SUMARÉ (DAE). **Projeto de tratamento de esgotos domésticos ï Recanto das árvores**. Sumaré, 2006.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS (CEDAE). **Norma geral para projeto e construção de pequenas estações de tratamento de esgoto - NT-3.360-000.000-GPT-04-001**. 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto ï ETEs**. Belo Horizonte, 2006

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO (SAAE). **Sistemas de Tratamento de Esgoto**. Aracruz, Junho 2006.

AISSE, M. M; LEITE, B. Z;**Pós-Tratamento de efluentes de reatores tipo RALF em lagoas de estabilização**. ABES ï Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 19ºCongresso Brasileiro de Engenharia Sanitária ambiental. Curitiba, ?.

FORTUNATO, C. M; GOMES, S. S; ANDREOLI, F. N; AISSE, M, M;
Agressividade de sulfetos ao concreto de reatores tipo RALF.Curitiba, 2007.

ASTM INTERNATIONAL - Norma ASTM-G20-10 ï Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings

MARUMBO, J. T, **Difusão de cloretos e ataque por sulfatos e pasta de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Ciência na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear). Prof. Orientador Luis Felipe C. P. de Lima, Doutor. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

TAKAGI E. M, Et all. Aspectos Técnicos de Durabilidade dos Revestimentos Minerais Para a Proteção do Concreto de Obras Para Saneamento de Águas e Esgostos. **Concreto e Construção**. Nº 47, julho, agosto e setembro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15487:2007 ï Membrana de poliuretano para impermeabilização**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 14050:1998** ï Sistemas de revestimento de alto desempenho, a base de resinas epoxídicas e agregados minerais-Projeto, execução e avaliação do desempenho-Procedimento.

FERREIRA, O. P.;ALMEIDA, A. E. F. S. Revestimentos Poliméricos para Proteção à Corrosão Bacteriológica do Concreto. Disponível em http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/imagens/boletim_ibracon.pdf (acessado em 09/08/2014)

RIBEIRO, D. V. et al. Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise, Rio de Janeiro: Elsevier, 2014

FERREIRA, P.R.R., LIMA, M. S., MEIRA, G. R. Estudo do comportamento de concretos em ambientes com a presença de ácido sulfúrico e cloretos, 2013.