



SECOVI SP
O SINDICATO DA HABITAÇÃO

Desde 1946

Seminário
***Durabilidade e vida útil:
responsabilidades e
impactos sobre projeto,
construção e manutenção
de edifícios.***
2 de março de 2012

Dra. Vera Fernandes Hachich

Tesis – Tecnologia e Qualidade em Sistemas de Engenharia
Sócia-Gerente

Palestra



**RESPONSABILIDADES E
ORGANIZAÇÃO DA INDÚSTRIA
DE MATERIAIS, COMPONENTES E
SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA
PROJETO E CONSTRUÇÃO COM
FOCO NA DURABILIDADE E VIDA
ÚTIL**

Tópicos da palestra

- ⌘ Estabelecer critérios mínimos *eliminatórios* para a avaliação da durabilidade
- ⌘ Compatibilizar velocidades entre:
 - ☒ desenvolvimento tecnológico
 - ☒ Avaliação
- ⌘ Disponibilizar o conhecimento através das normas;
- ⌘ Garantir a conformidade às normas através dos PSQs

Previsão da vida útil

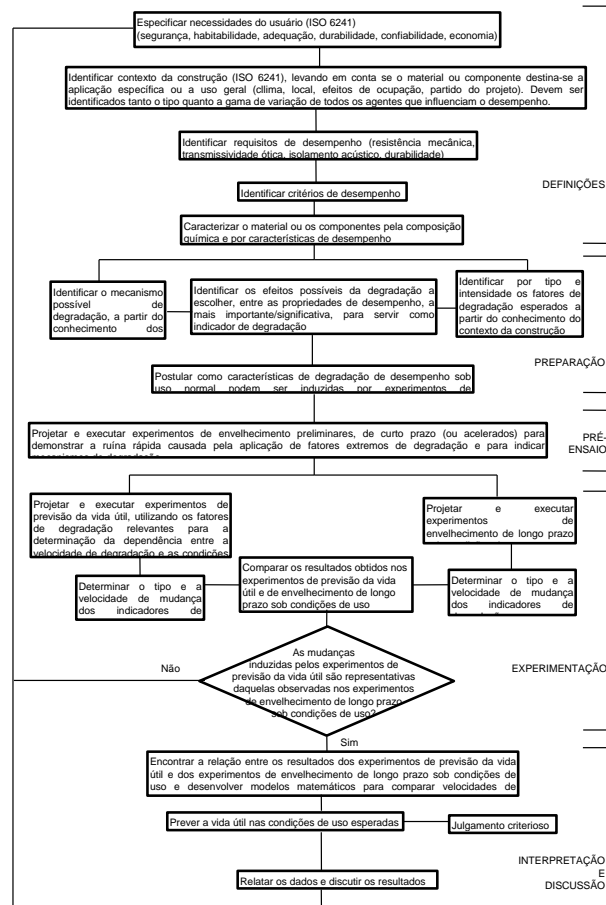
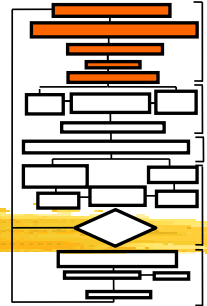


Figura 1: Árvore de decisão para predição da vida útil (BSI)

Definições



**Especificar necessidades do usuário (ISO 6241 – NBR 15575)
(segurança, habitabilidade, adequação, durabilidade, confiabilidade,
economia)**

Identificar contexto da construção (ISO 6241 – NBR15575), levando em conta se o material ou componente destina-se a aplicação específica ou a uso geral (clima, local, efeitos de ocupação, partido do projeto). Devem ser identificados tanto o tipo quanto a gama de variação de todos os agentes que influenciam o desempenho.

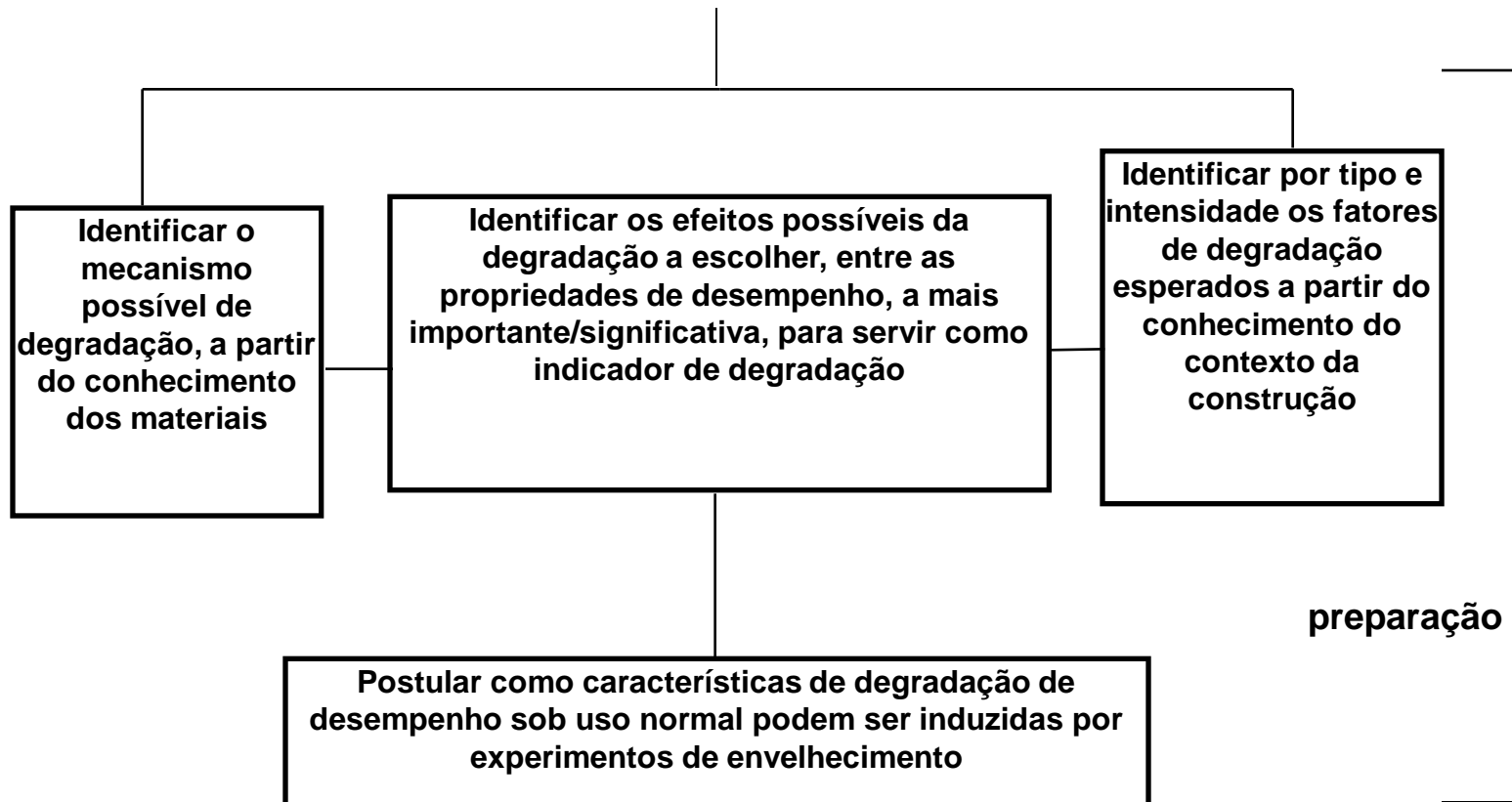
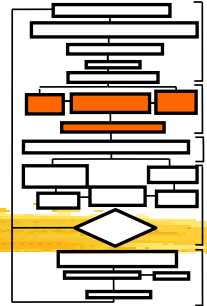
**Identificar requisitos de desempenho (resistência mecânica,
transmissividade ótica, isolamento acústico, durabilidade)**

Identificar critérios de desempenho

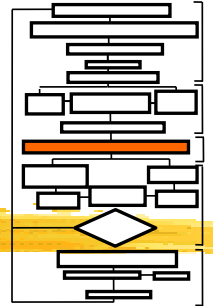
**Caracterizar o material ou os componentes pela
composição química e por características de desempenho**

definições

Preparação



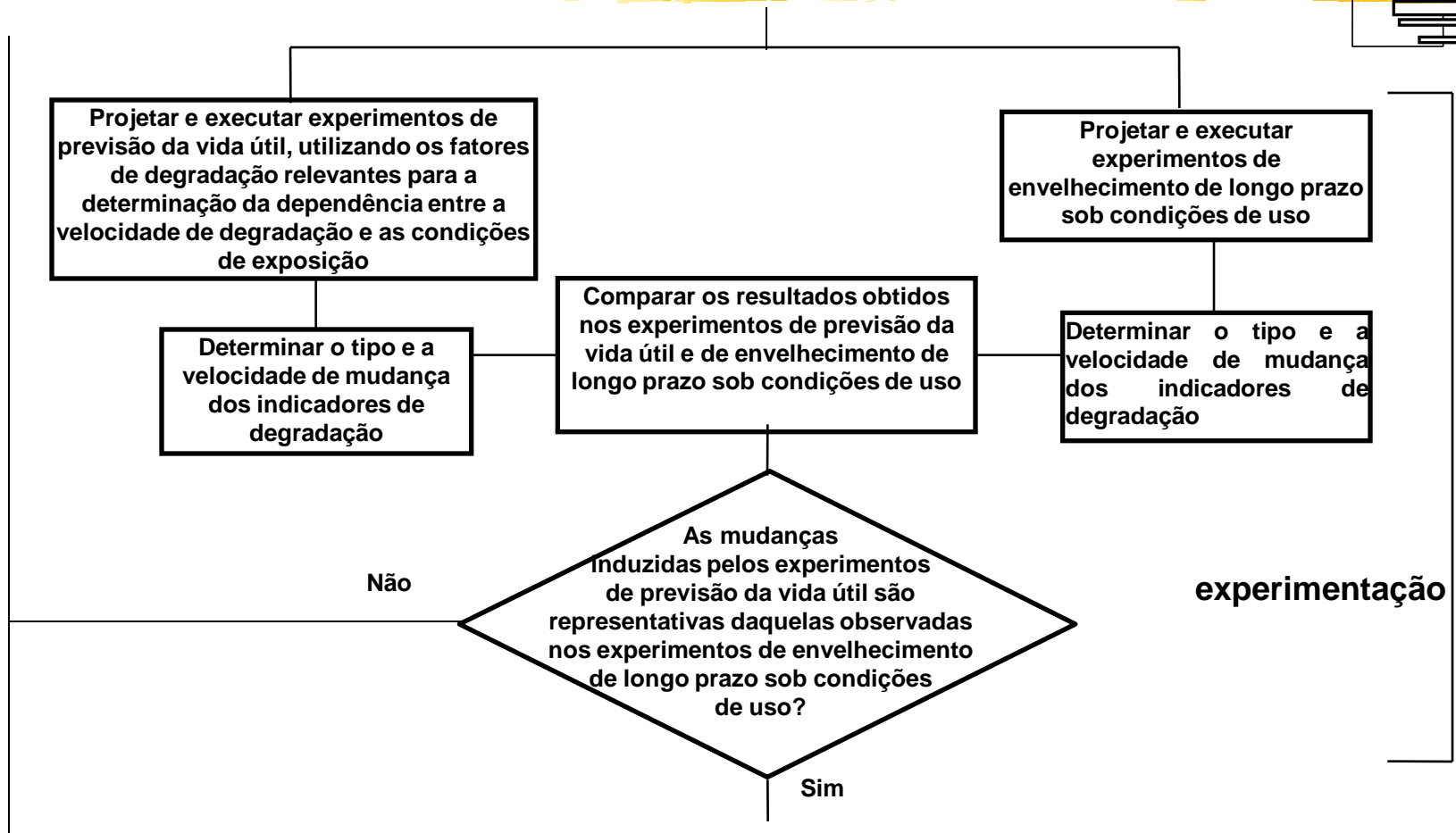
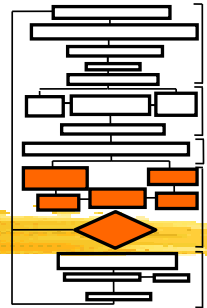
Pré-ensaio



Projetar e executar experimentos de envelhecimento preliminares, de curto prazo (ou acelerados) para demonstrar a ruína rápida causada pela aplicação de fatores extremos de degradação e para indicar mecanismos de degradação

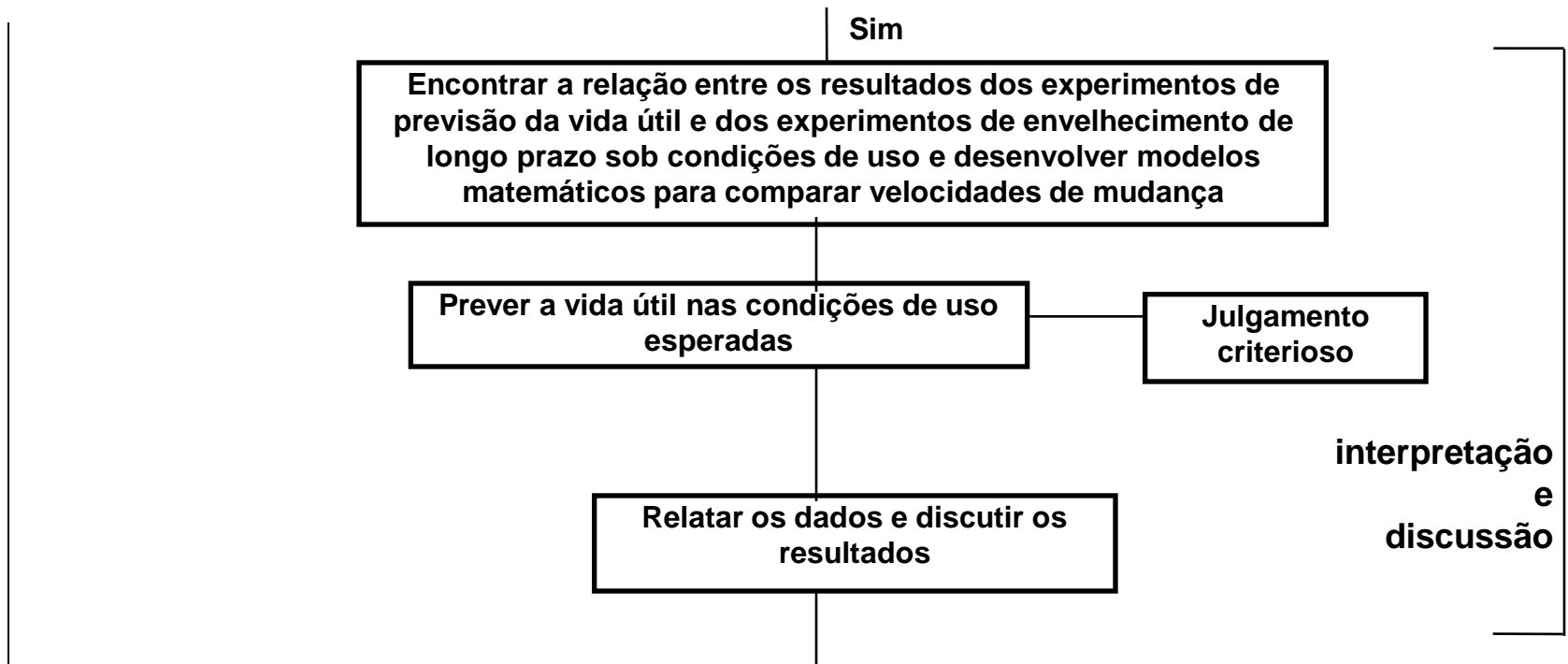
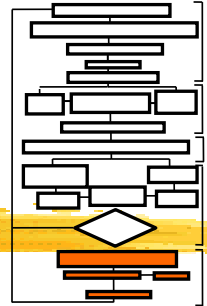
pré-ensaio

Experimentação



experimentação

Interpretação e discussão



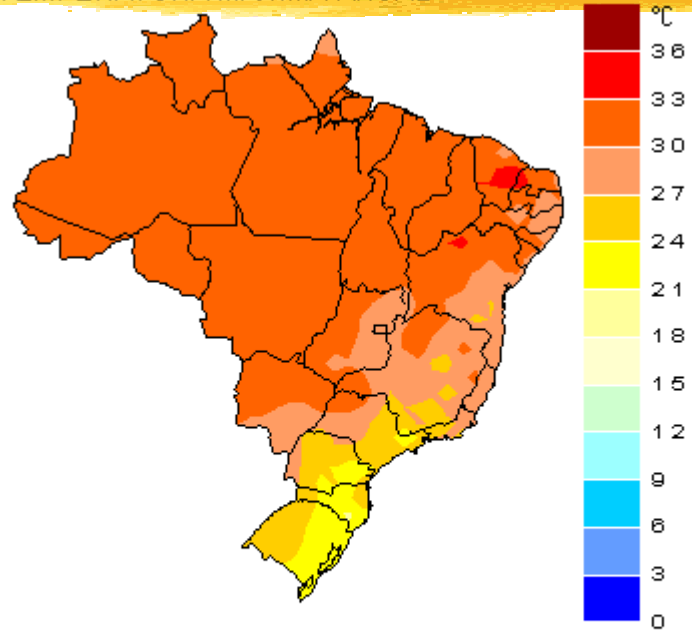
Dificuldades da avaliação da Durabilidade



- ⌘ Variação dos fatores de degradação - geograficamente e ao longo do tempo

Temperatura máxima anual

TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL



Fonte: INMET 1931/1990

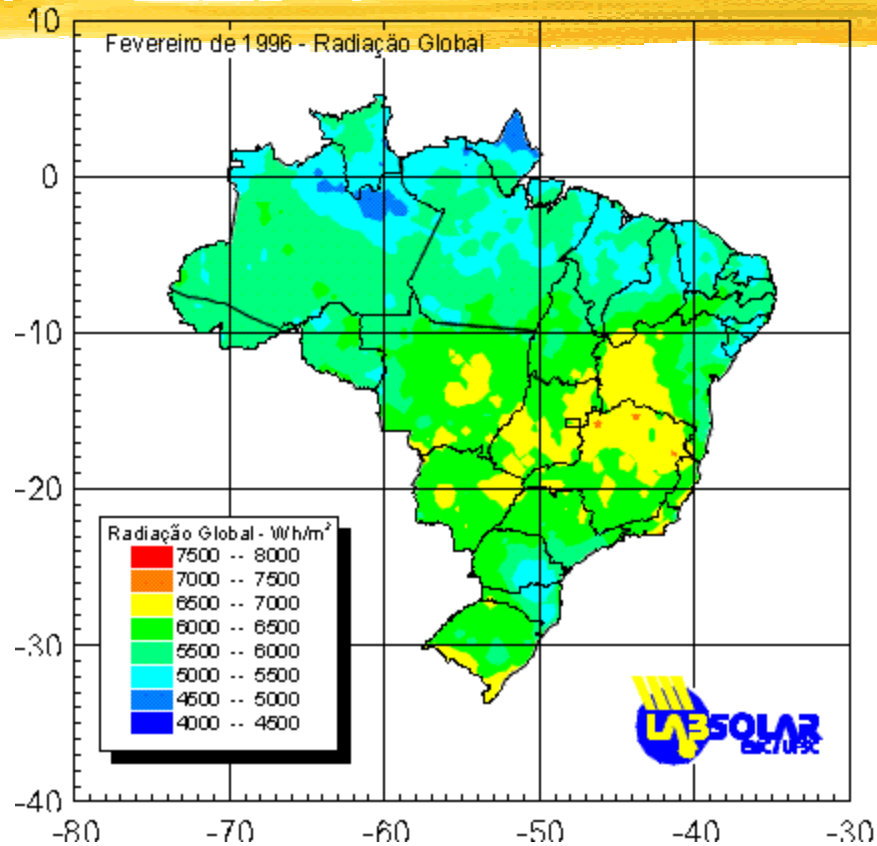


Dificuldades da avaliação da Durabilidade



- ⌘ Variação dos fatores de degradação - geograficamente e ao longo do tempo
- ⌘ Dificuldade na escolha dos fatores e de sua intensidade

Radiação solar mensal



Dificuldades da avaliação da Durabilidade



- ⌘ Variação dos fatores de degradação - geograficamente e ao longo do tempo
- ⌘ Dificuldade na escolha dos fatores e de sua intensidade
- ⌘ Necessidade de restringir o número e o tempo dos ensaios
- ⌘ Estabelecimento da relação entre os resultados obtidos e a realidade

Fato



- ⌘ Não existe material durável
- ⌘ Cada material é sensível a ação de determinados fatores de degradação
- ⌘ Diferentes locais apresentam diferentes fatores de degradação!

Fatores de Degradação

⌘ Ambientais

- ☑ Radiação
- ☑ Temperatura
- ☑ Água
- ☑ Constituintes do Ar e poluentes
- ☑ Gelo-Degelo
- ☑ Vento

⌘ Biológicos

- ☑ Roedores
- ☑ Fungos
- ☑ bactérias
- ☑ ...

Exemplos de degradação

Material	Mecanismo de Degradação	Medida de projeto/ proteção
Polímeros	Foto Térmico	do sol temperaturas elevadas
Aço	Corrosão	umidade cloretos
Concreto	Corrosão da armadura por carbonatação	cobrimento resistência mecânica
Madeira	Apodrecimento por ação de fungos	umidade

ABNT NBR 15575

Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) - Desempenho



OBJETIVOS DA NORMA

- ⌘ Apresentar o conceito de desempenho aplicado aos edifícios;
- ⌘ Introduzir conceitos de manutenibilidade da edificação, durabilidade e vida útil.



DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES

Construções devem atender:



**Análise de desempenho:
adequação ao uso**

- Independentemente:
 - Materiais
 - Soluções construtivas
 -

NECESSIDADES DOS USUÁRIOS



Outras exigências dos usuários

Adaptabilidade

- crescimento econômico
- mudança de uso
- novas tecnologias
- mudanças nos ocupantes: filhos, envelhecimento, crescimento da empresa

Preservação ambiental

- uso racional de água
- uso racional de energia
- < materiais não renováveis

Manutenibilidade

- Prever soluções considerando manutenções necessárias

ANÁLISE DO DESEMPENHO

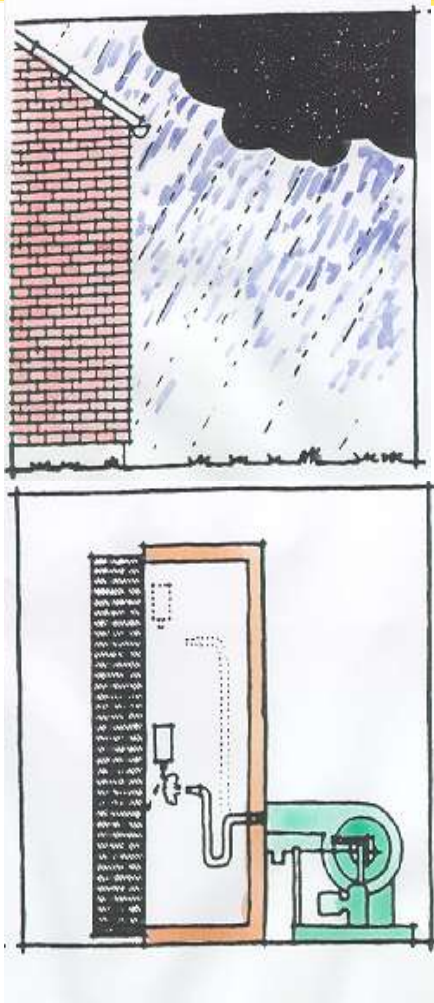
Análise de projeto

- analogias
- modelos matemáticos
 - conforto térmico
 - durabilidade do concreto
 - segurança estrutural
- baixo custo

Ensaio de desempenho

- simulação de situações de uso
- custo + elevado

ENSAIOS DE DESEMPENHO

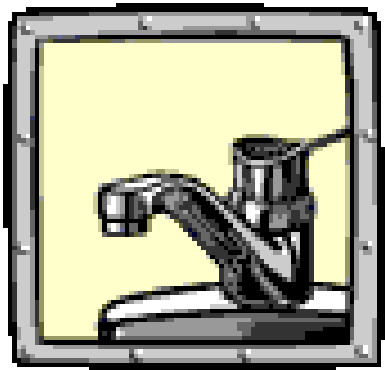


DESEMPENHO

Desempenho analisado no componente

Mesmo componente, diferentes empregos:

- Requisitos de desempenho podem ser diferentes
- Propriedades importantes podem variar



Condições de pressão de água, temperatura, tipos de uso

DURABILIDADE

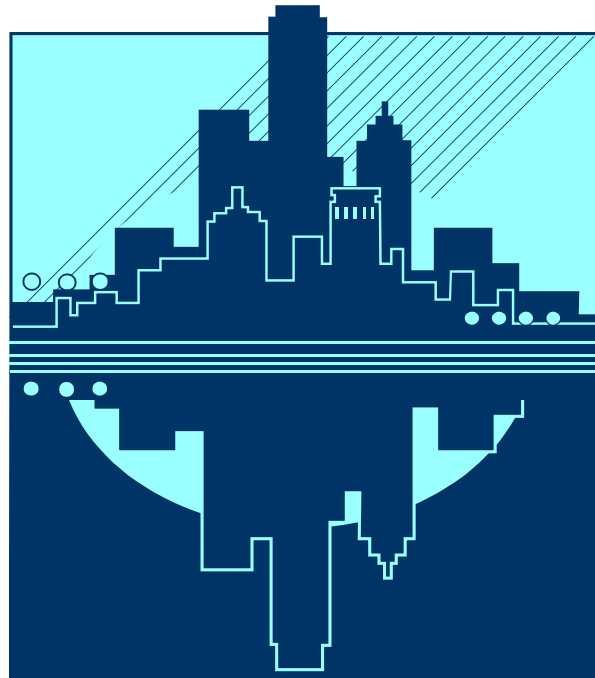
Materiais interagem com o ambiente

água

radiação solar

variação térmica

*animais e
micro-organismos*



usuários

produtos do uso

esforços cíclicos

VIDA ÚTIL

Período de tempo que o componente atende as necessidades dos usuários



PRAZO DE GARANTIA

Período de tempo em que é elevada a probabilidade de que eventuais vícios ou defeitos em um sistema, em estado de novo, venham a se manifestar, decorrentes de anomalias que repercutam em desempenho inferior àquele previsto

VIDA ÚTIL



Projeto para a vida útil

- Projetar levando em conta:
 - Degradação dos componentes
 - Mudança de necessidades dos usuários
- Planejar as atividades de manutenção
- Facilitar adaptação à mudanças de necessidades dos usuários

NORMAS BRASILEIRAS DE DESEMPENHO

- ABNT NBR 15575-1 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais
- ABNT NBR 15575-2 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
- ABNT NBR 15575-3 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos
- ABNT NBR 15575-4 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas
- ABNT NBR 15575-5 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas
- ABNT NBR 15575-6 – Edifícios habitacionais (de até cinco pavimentos) – Desempenho - Parte 6: Sistemas hidrossanitários

CONDUÇÃO DE EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES TÉCNICAS - AVANÇO NO CONHECIMENTO

Estudo da degradação dos reservatórios expostos às intempéries



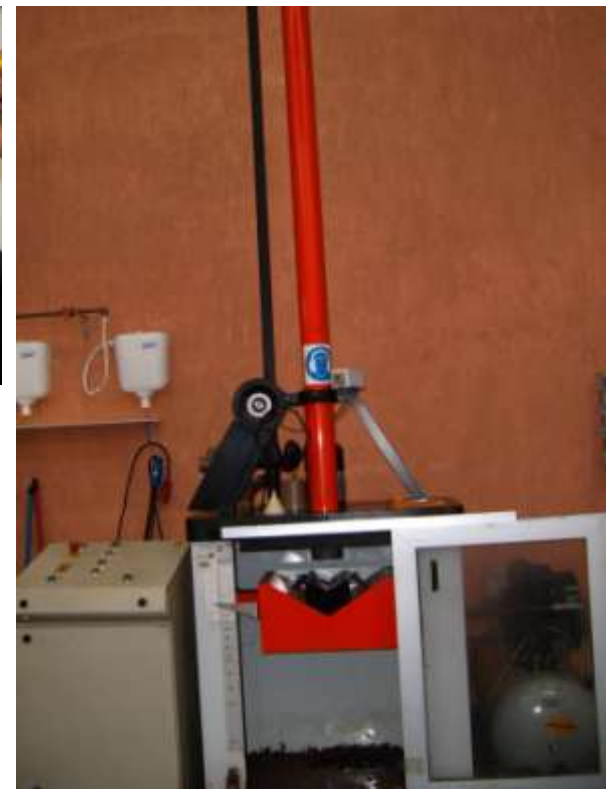
- 10 anos de exposição natural na ESALQ/USP;
- 18000h de exposição acelerada em WOM.

CONDUÇÃO DE EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES TÉCNICAS - AVANÇO NO CONHECIMENTO

RESISTÊNCIA AO IMPACTO A -29°C

OBJETIVO: Analisar a qualidade do composto de PE e do processo de rotomoldagem adotado no reservatório

- Ensaio de resistência ao impacto conforme norma ASTM D 1998;
- Temperatura de acondicionamento dos corpos de prova -29°C por 30min;
- Acondicionamento com gelo seco e álcool isopropílico.



Deformação dos reservatórios

ESTUDOS DE CAMPO x ENSAIOS LABORATORIAIS EM AMBIENTE COM TEMPERATURA DE 50oC

Estudos de campo:

- Exposição dos reservatórios às intempéries (em SP) por 130 dias;
- Determinação da deformação sofrida pelos reservatórios

Ensaio laboratoriais:

- ensaio de curta duração (72h);
- Câmara de ensaio com temperatura de 50oC;
- Detectar as possíveis deformações e perda de estanqueidade à água sofridas pelos reservatórios;
- Distinguir produtos que apresentarão comportamentos diferentes de deformação.

Exposição na esalq/usp – piracicaba para:

- > Medições a cada 15 dias do perímetro lateral, alteração do volume de água interno, dificuldade de colocação e retirada da tampa;
- > Correlação entre os resultados de campo e laboratoriais (50oC)



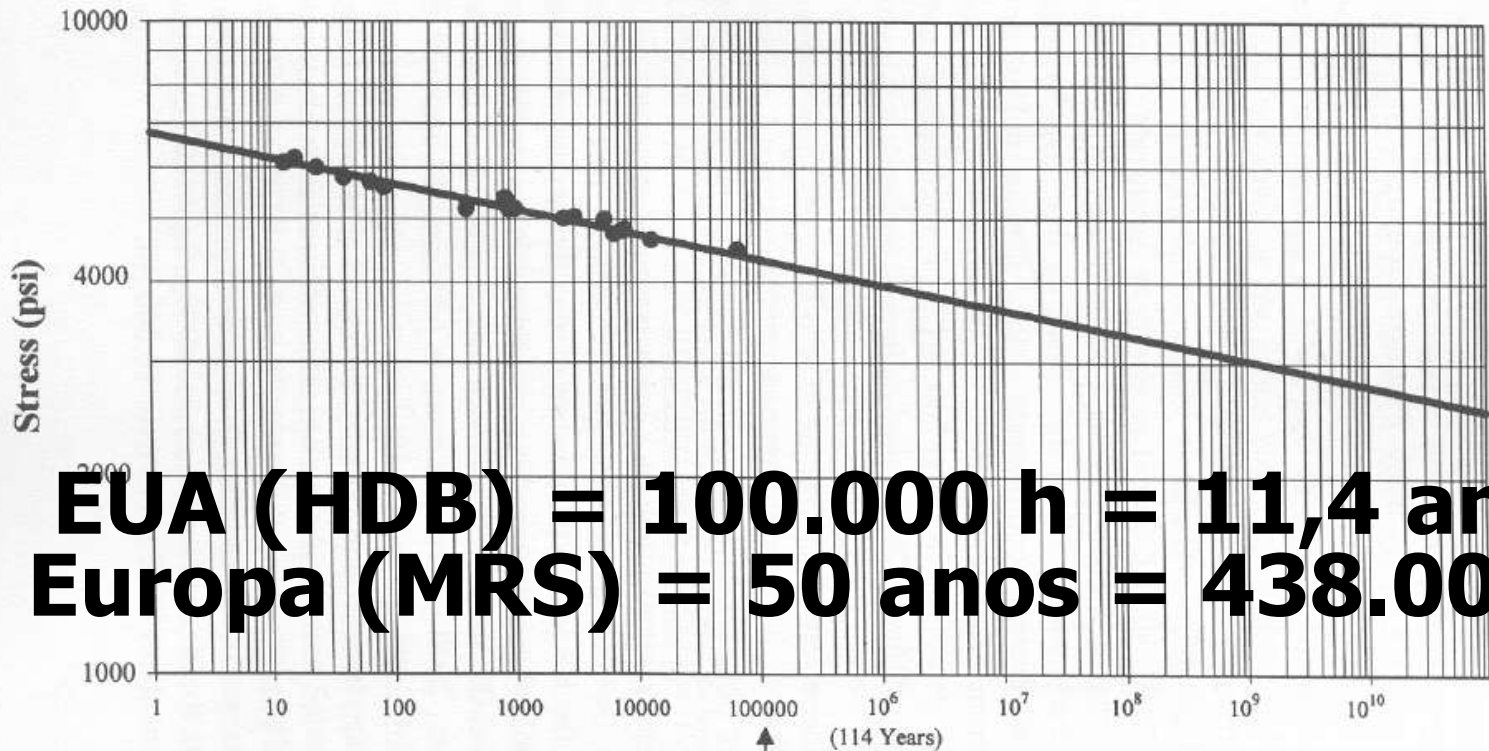
Aplicação prática para tubulações de PE e PVC



- ⌘ A durabilidade de sistemas plásticos de tubulações para água e gás é prevista através de CURVAS DE REGRESSÃO
- ⌘ Curvas de regressão são curvas que relacionam tensão circunferencial e tempo de carregamento em tubos, permitindo a extrapolação de tensões circunferenciais limite para a vida útil prevista do tubo

Curva de regressão (PVC)

FIGURE 5.2
STRESS REGRESSION LINE - 12454



EUA (HDB) = 100.000 h = 11,4 anos
Europa (MRS) = 50 anos = 438.000 h

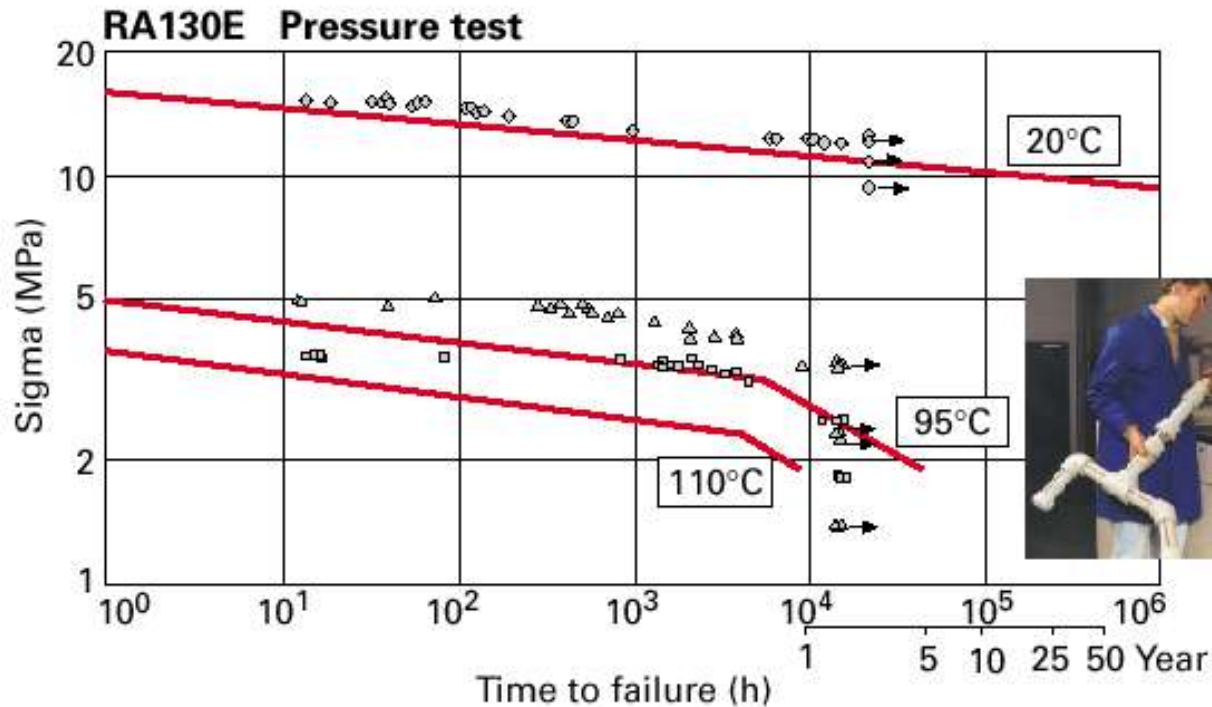
HDB Intercept

Time (hours)

HDB = Hydrostatic Design Basis
MRS = Minimum Required Strength

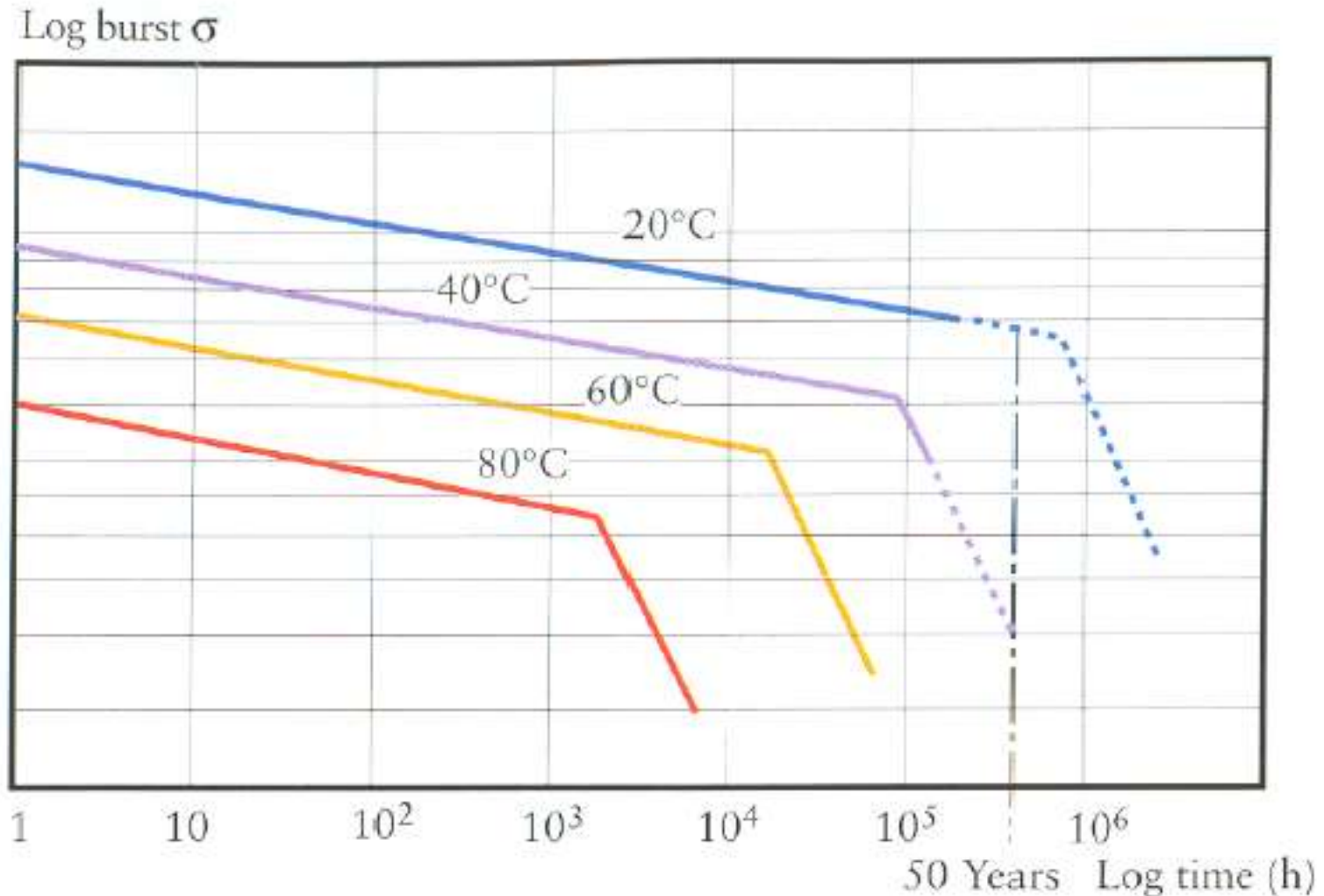
Curva de regressão (PP)

- Os valores de tensão circunferencial admissível são fortemente dependentes da temperatura



Curva de regressão (PE)

Transição do mecanismo de fratura



Curva de regressão (PE)

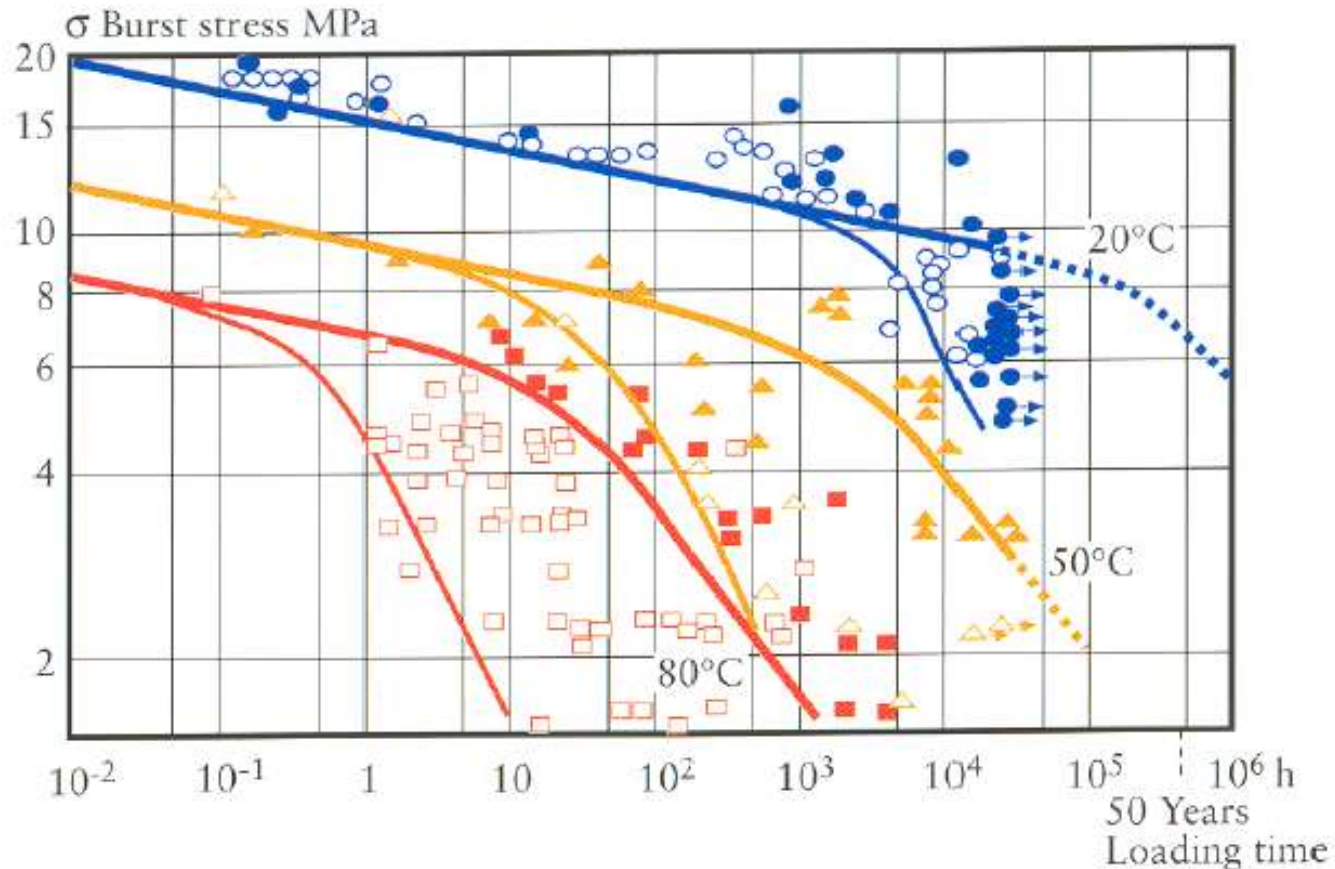


Figure 3.2.4

Stress/time curves for HDPE-pipes. Density 950 kg/m^3 , MFR5 ~ 0.3 ; thick lines. Thin lines represent HDPE-pipes with lower molecular weight, MFR5 ~ 1.5 (17).

Revisão na literatura especializada

Efeito do processamento

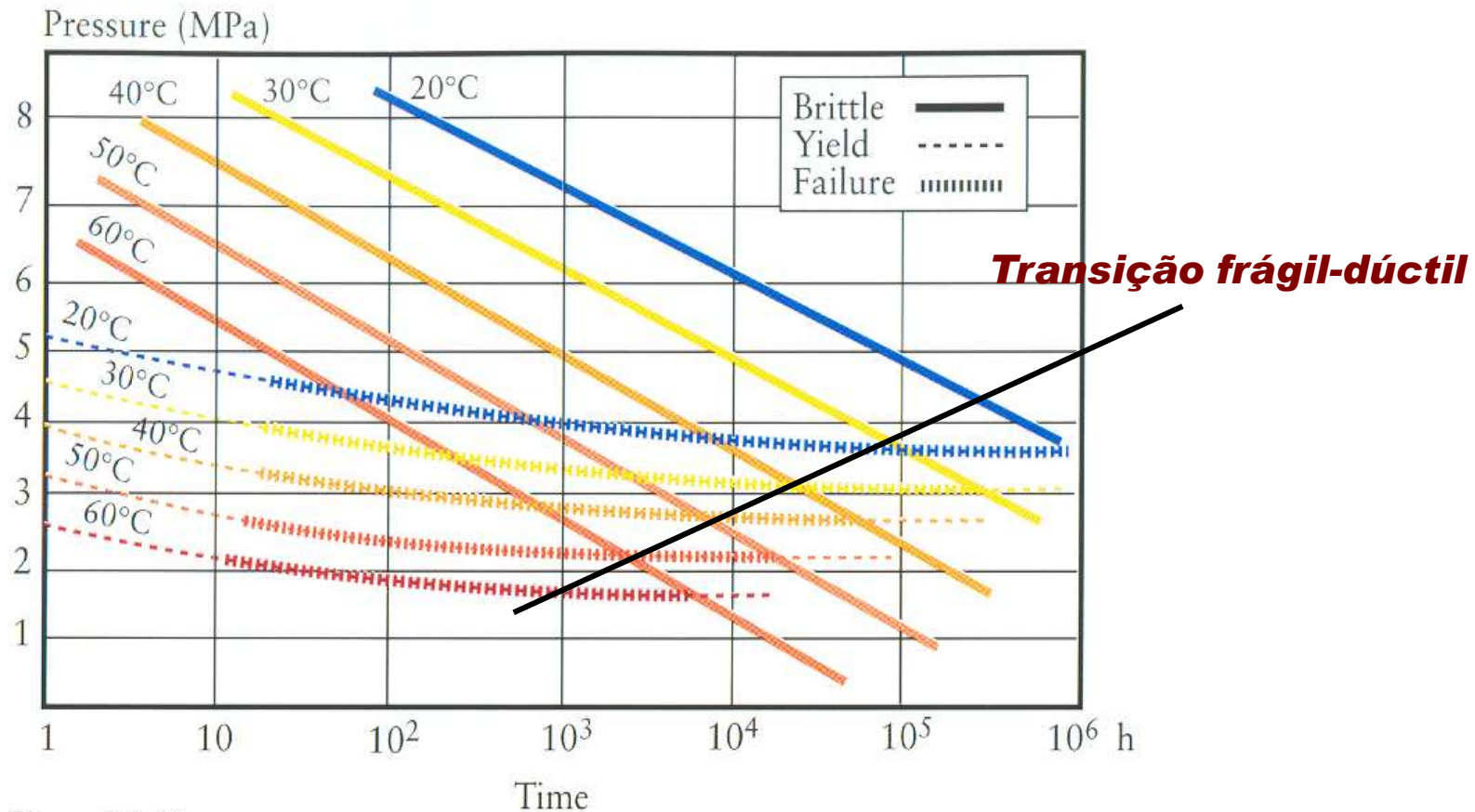
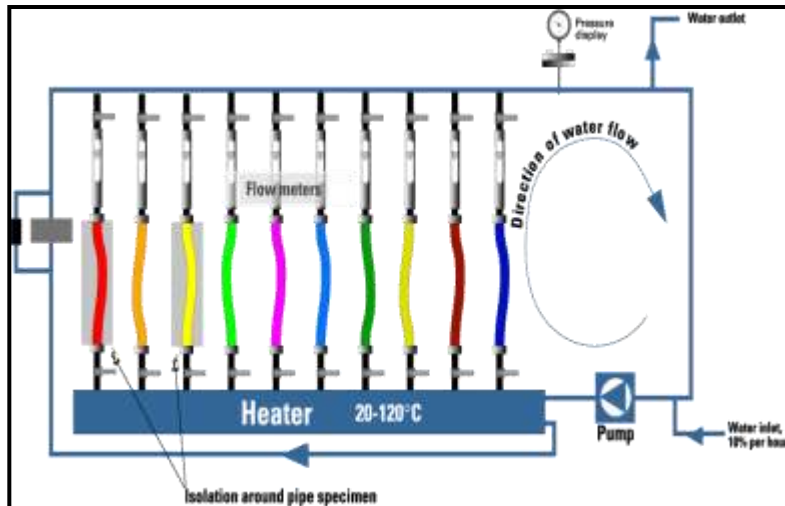
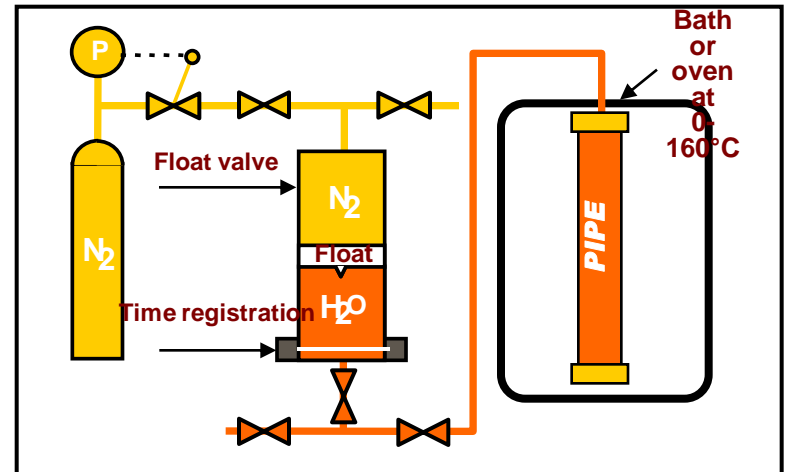


Figure 3.2.15
Time to failure versus hydrostatic pressure at different temperatures for a well processed PVC-U pipe (25).

Técnicas do ensaio



RESISTÊNCIA AO USO



Fechaduras corrosão



SIMULAÇÃO DE USO



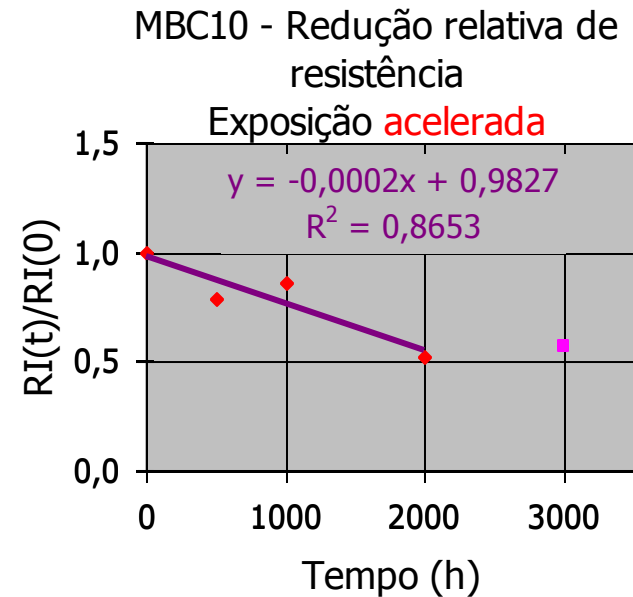
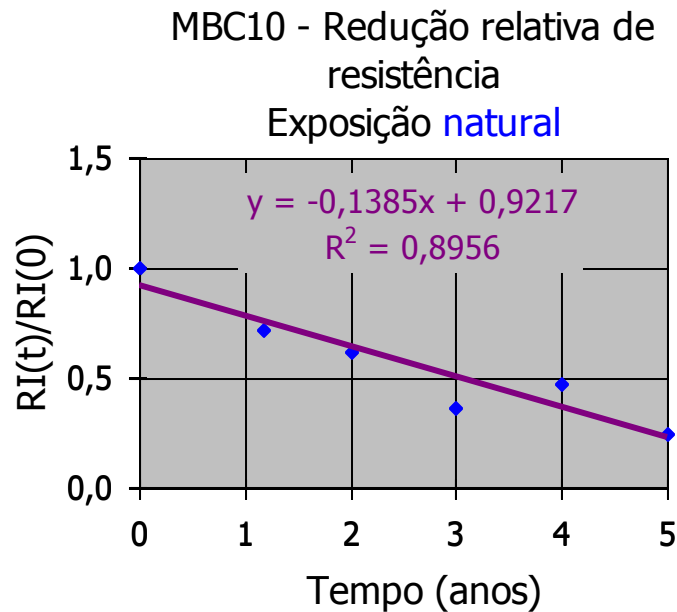
Estudo laboratorial
Objetivo: verificar o comportamento das torneiras em diferentes condições e propor métodos de ensaio adequados



Exemplo de pesquisa – aplicada ao SINAT e às normas

- ⌘ Verificar a possibilidade da utilização de critérios para avaliação expedita da durabilidade do PVC rígido
- ⌘ Estudar a influência:
 - ☑ dos sistemas de estabilização
 - ☑ dos modificadores de impacto
 - ☑ do teor de dióxido de titânio, utilizado como pigmentona durabilidade dos compostos

Taxa de decréscimo de resistência: conceituação



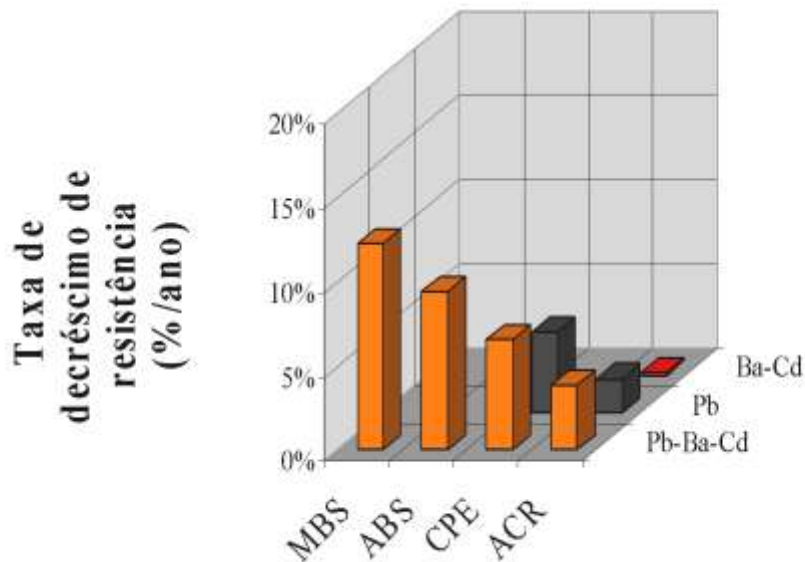
Nos exemplos acima:

$$\Delta R/R_o = 13,85\% / \text{ano}$$

$$\Delta R/R_o = 20\% / 1000 h$$

Desempenho dos sistemas de estabilização - exposição natural

Influência do modificador e do estabilizador
10 per de TiO₂



⌘ Dentre os sistemas de estabilização estudados, os de melhor desempenho foram:

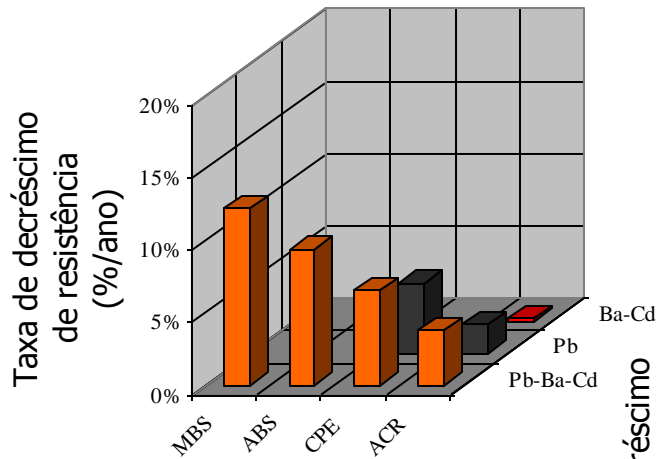
⊠ Ba/Cd

⊠ Pb

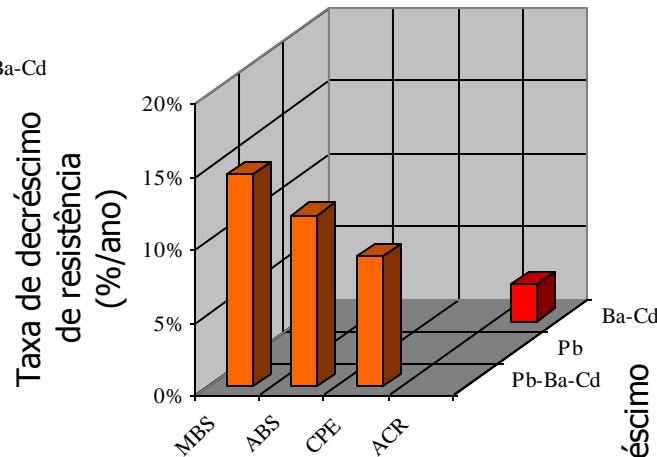
⊠ Pb/Ba/Cd

Influência do teor de TiO_2

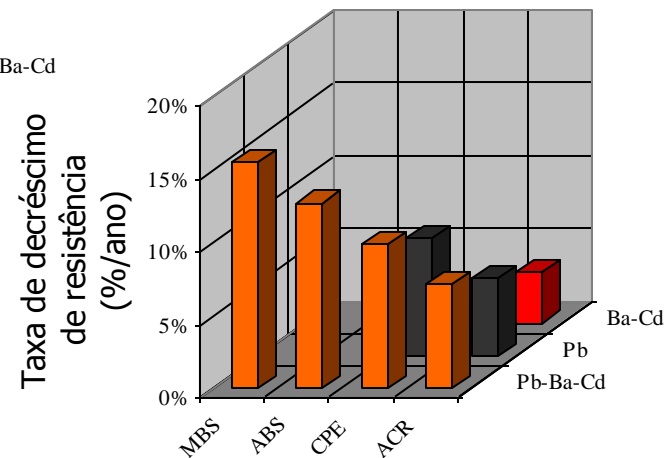
10 pcr



5 pcr

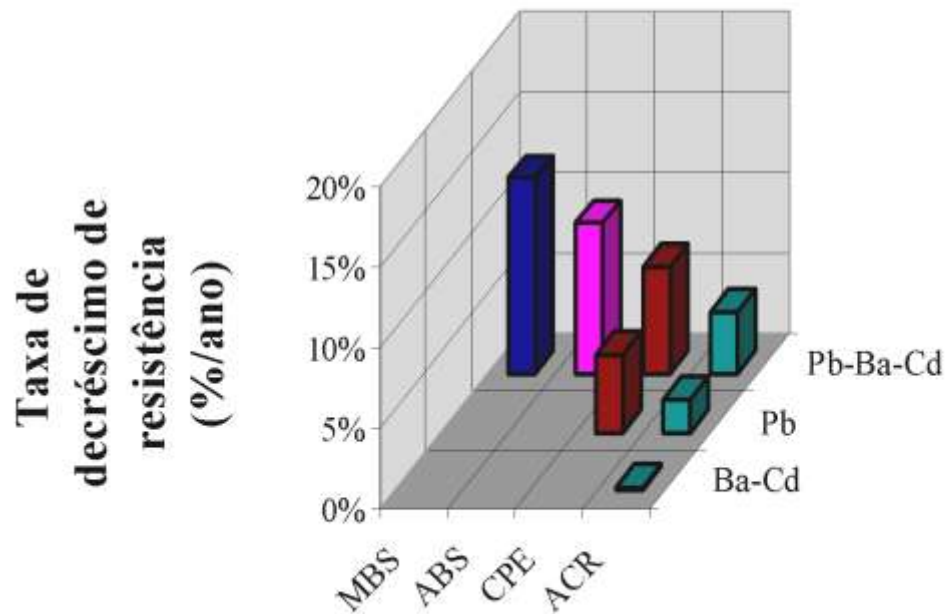


3 pcr



Desempenho dos modificadores de impacto - exposição natural

Influência do estabilizador e do
modificador
10 per de TiO₂



⌘ Dentre os modificadores de impacto estudados, os de melhor desempenho foram:

⌘ acrílico

⌘ CPE

⌘ ABS e MBS

Aditivos do composto de PVC

⌘ O comportamento mecânico do composto é principalmente afetado por:

★ modificador de impacto

🕒 teor de aditivação de dióxido de titânio

🕒 sistema de estabilização

⌘ Formulações com **menos** do que **5 pcr de** TiO_2 \Rightarrow provável desempenho inadequado

Modificadores de impacto

Modificador

Desempenho

MBS

incondicionalmente insatisfatório

ABS

incondicionalmente insatisfatório

CPE

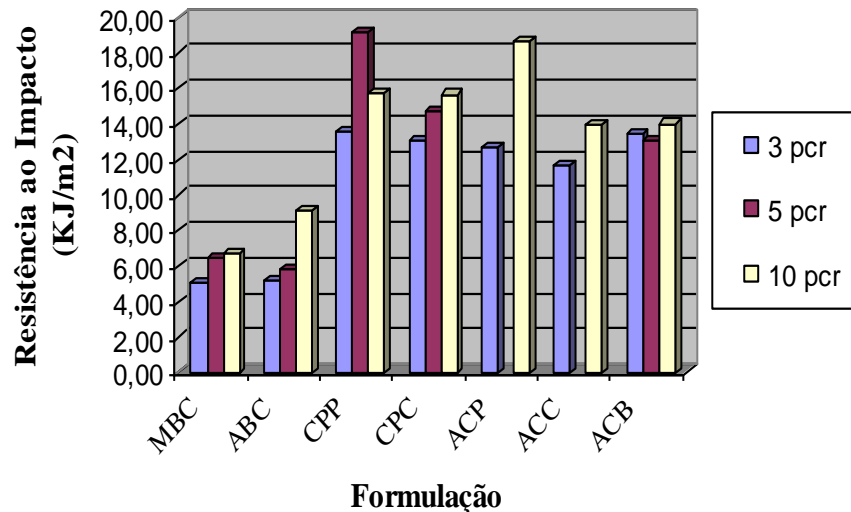
condicionalmente satisfatório: requer teor de $\text{TiO}_2 > 5$ pcr ou estabilização com Pb

Acrílico

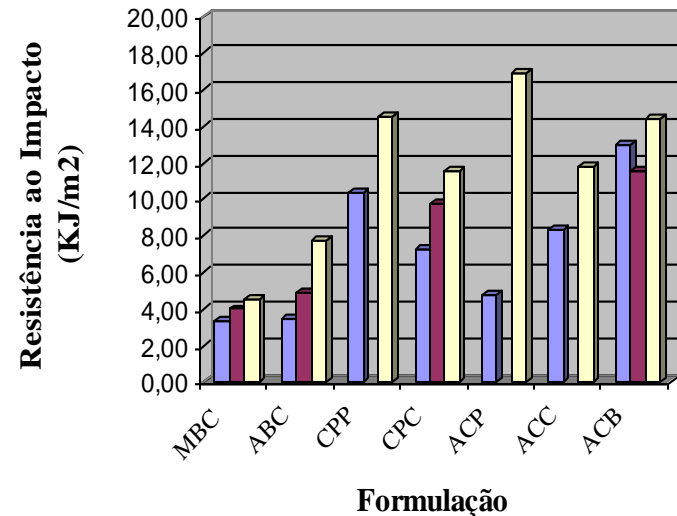
condicionalmente satisfatório: requer teor de $\text{TiO}_2 > 5$ pcr ou estabilização com Ba/Cd ou Pb/Ba/Cd

Exposição natural: duração mínima

Influência do TiO₂ nas formulações
(3 anos de exposição natural)



Influência do TiO₂ nas formulações
(5 anos de exposição natural)



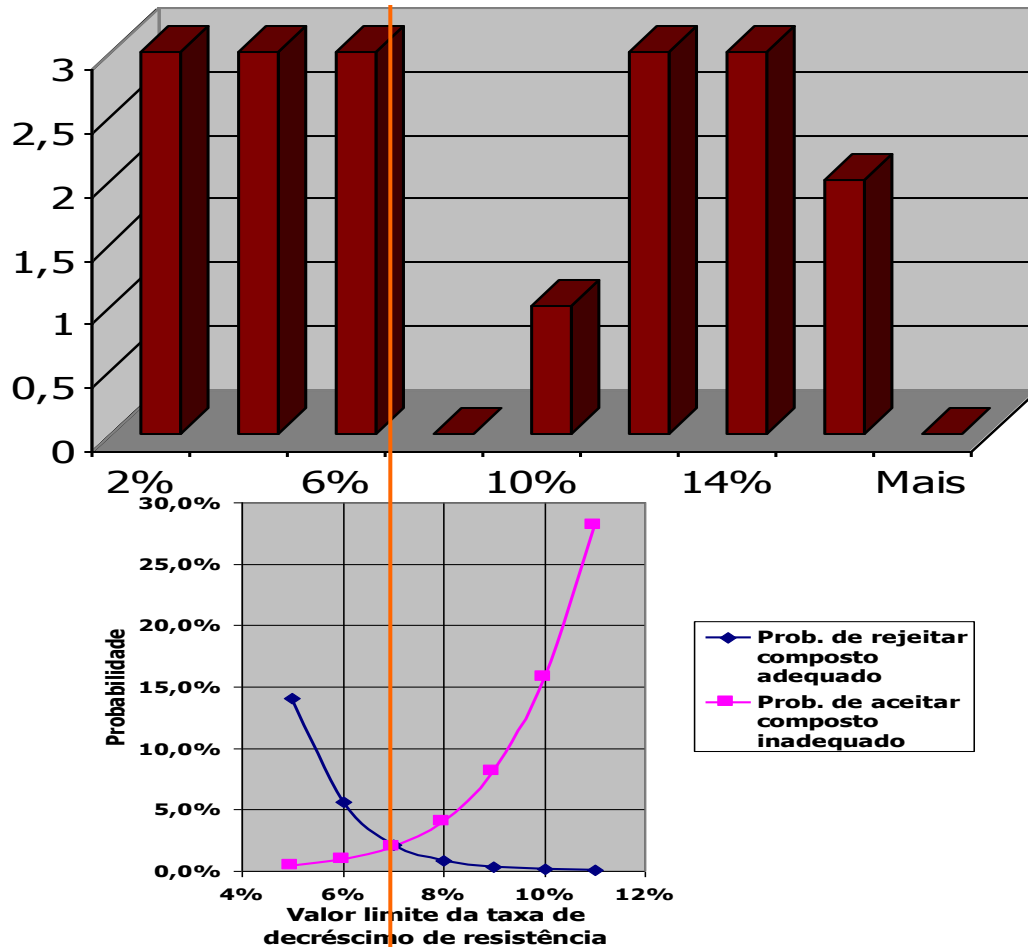
Avaliações da durabilidade através da exposição natural devem ter duração de cinco anos; tempos menores de exposição poderão levar a conclusões incorretas.

Propriedades para a avaliação

- ⌘ **Cor** não deve ser utilizada como critério de avaliação
- ⌘ **Variação do módulo de elasticidade** deve ser melhor estudada
- ⌘ RI **inicial mínima** = 12 KJ/m²
- ⌘ Taxa de decréscimo da RI < 7% ao ano
 - ⇒ risco do produtor = 2,2 %
 - ⇒ risco do consumidor = 1,9%

Taxa de decréscimo de resistência admissível: critério

Distribuição de taxas de decréscimo de resistência - Exposição natural



Procurando reduzir o risco de uma má formulação ser aceita (risco do consumidor = 1,9%), sem no entanto aumentar em demasia os riscos do produtor (2,2%), ou seja, o de uma boa formulação ser rejeitada, chega-se a uma taxa de decréscimo da resistência ao impacto de

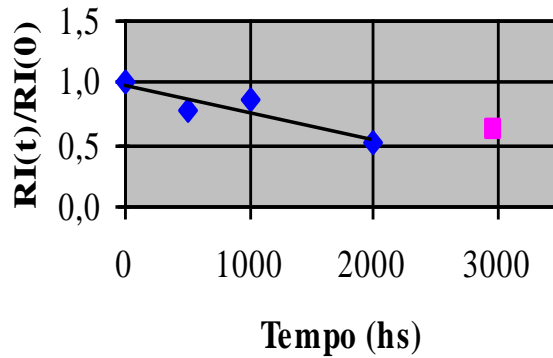
7% ao ano

Exposição acelerada

- ⌘ Mecanismos da degradação natural foram reproduzidos na **câmara de ultra-violeta**
- ⌘ É possível efetuar a avaliação dos compostos através do **CUV**, para fins de **eliminação de formulações inadequadas**
- ⌘ É **essencial** que a exposição se estenda por **2000** horas

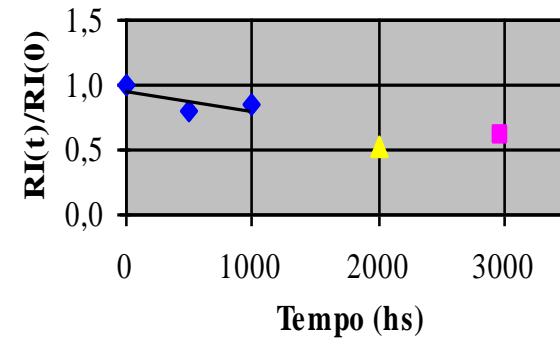
Ensaio acelerado: 1000 horas bastariam?

MBC10 - Redução relativa de resistência - exposição acelerada



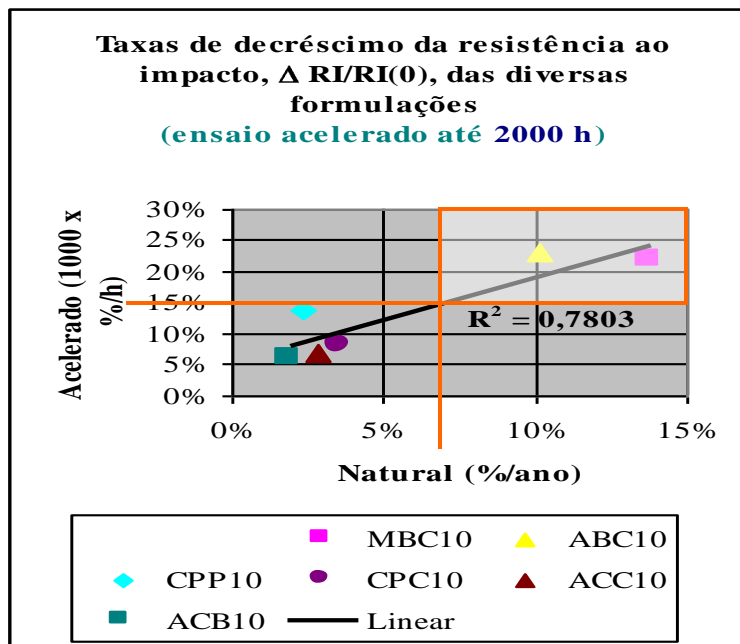
2000 h

MBC10 - Redução relativa de resistência - exposição acelerada

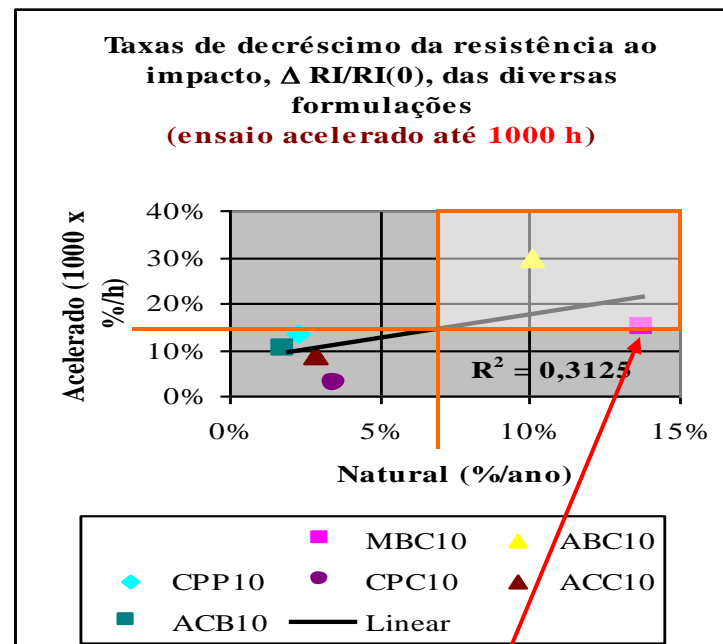


1000 h

Poder discriminatório: 1000 horas vs. 2000 horas



2000 h $\Rightarrow r^2=0,78$
SATISFATÓRIO



1000 h $\Rightarrow r^2=0,31$
INSATISFATÓRIO

Critério geral:

$\Delta R/R_0 < 0,015\% / h$ na CUV

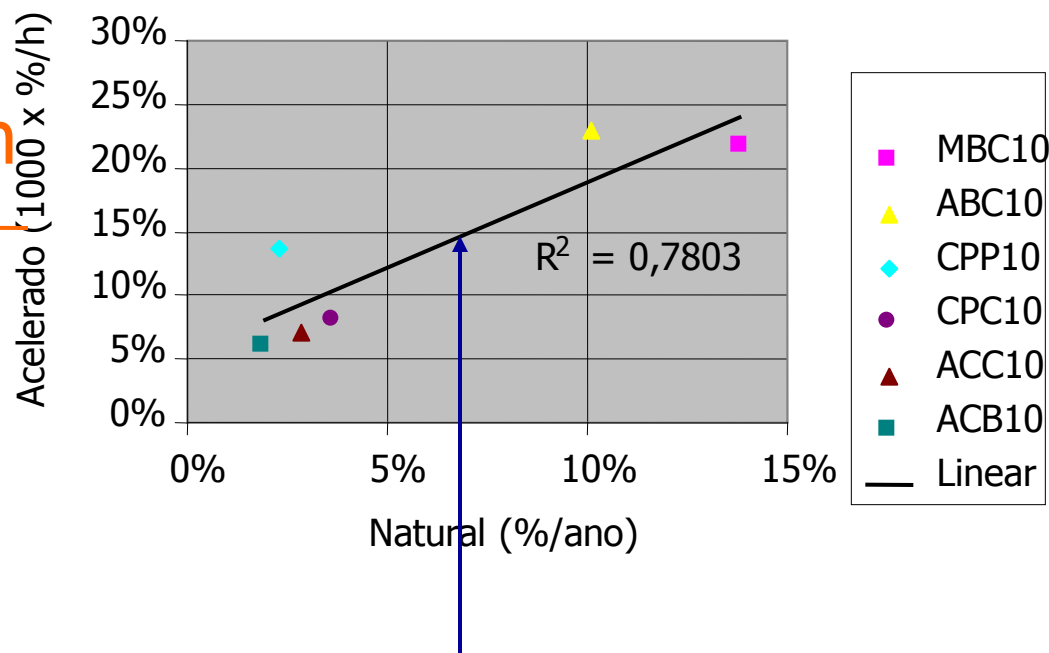
Acelerado:

⌘ 15% / 1000 h

⌘ 0,015% / h

⌘ medições a
0, 500, 1000
e 2000 h

Taxas de decréscimo da resistência ao impacto,
 $\Delta R/RI(0)$, das diversas formulações
(ensaio acelerado até 2000 h)



Natural: 7% ao ano

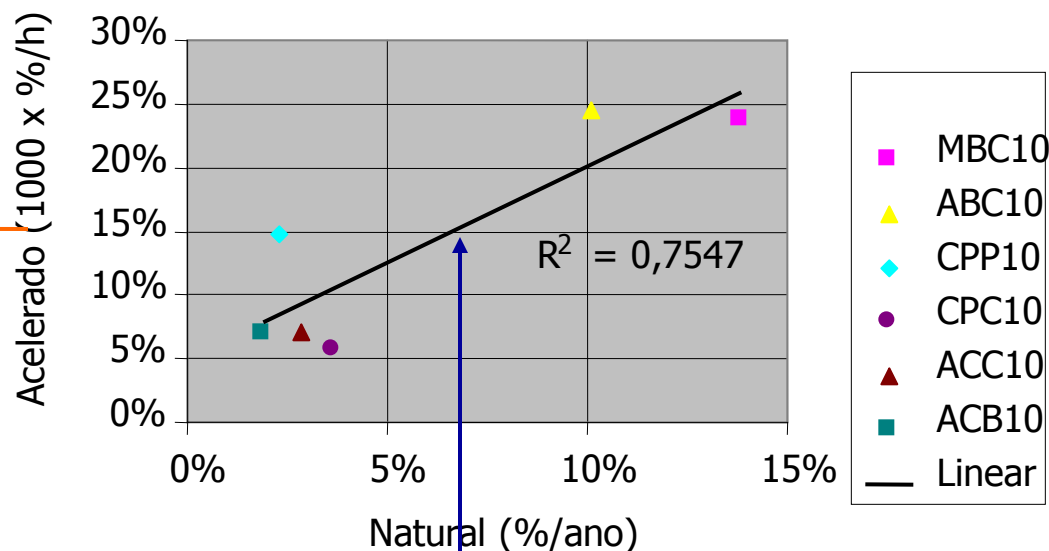
Critério para aprovações técnicas: **$\Delta RI/R_0 < 30\%$ após 2000 h na CUV**

Acelerado:

**⌘ 30% após
2000 h** ←

**⌘ medições a
0 e a 2000 h**

Taxas de decréscimo da resistência ao impacto,
 $\Delta RI/RI(0)$, das diversas formulações
(ensaio acelerado até 2000 h)



Natural: 7% ao ano

Aplicação em diretriz SINAT

MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional da Habitação
Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H)
Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT)

Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos

DIRETRIZ SINAT

Nº 004

**Sistemas construtivos formados por paredes
estruturais constituídas de painéis de PVC
preenchidos com concreto
(Sistemas de paredes com formas de PVC incorporada)**

Brasília, julho 2010

Tabela 1 - Requisitos para caracterização dos materiais e componentes que formam os sistemas construtivos objetos desta Diretriz

Requisitos	Indicador de conformidade
Painéis de PVC rígido	
Espessura mínima dos perfis	1,7mm
Cor dos perfis	Conforme especificação de projeto, com $(\alpha) \leq 0,6$
Resistência do PVC aos raios ultravioleta (exposição de placas de PVC em câmara de CUV-UVB)	2000 horas de exposição em câmara de CUV, com lâmpada de UVB
Módulo de elasticidade na flexão (antes e após CUV)	$R_{\text{após envelhecimento}} \geq 0,70 R_{\text{inicial}}$
Resistência ao impacto: realizar ensaio de impacto Charpy ou ensaio de impacto na tração (antes e após exposição em câmara de CUV)	$R_{\text{após envelhecimento}} \geq 0,70 R_{\text{inicial}}$
Aspecto visual após ensaio de envelhecimento acelerado	As duas faces do corpo de prova devem ser avaliadas: Sem bolhas, sem fissuras, ou escamações, após exposição de 2000 horas em câmara de CUV, com avaliação a 500h, 1000h, 1500h e 2000h

OBRIGADA PELA ATENÇÃO



Vera Fernandes Hachich

TESIS (11) 9153-8190

vera@tesis.com.br