Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

ANÁLISE DO LASTRO DE CONCRETO MAGRO COMO BARREIRA FÍSICO-QUÍMICA CONTRA ATAQUES DE CLORETO

ANALYSIS OF LEAN CONCRETE BLINDING AS A PHYSICAL-CHEMICAL BARRIER AGAINST CHLORIDE ATTACK

João Vitor Paixão Riveiro, Márcio de Sá Bispo, Willian Maehara Ishiba, André Luis Gomes Paes, Paulo Henrique Simão Moura

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: willain.ishiba.5@gmail.com

RESUMO – A corrosão das armaduras por íons cloreto é uma das principais causas de degradação de estruturas de concreto armado em zonas litorâneas. Este trabalho analisa a eficiência do lastro de concreto magro como barreira de proteção para sapatas. Foram avaliadas três configurações: concreto magro convencional, com aditivo cristalizante e com pintura asfáltica na interface. Os ensaios utilizaram solo e água do mar da região de Santos/SP, com identificação qualitativa de cloretos por nitrato de prata ($AgNO_3$). Os resultados indicaram que o concreto convencional e o cristalizante não impediram a permeação salina. Já a pintura asfáltica bloqueou a passagem de cloretos para a sapata, demonstrando maior eficiência como barreira física.

Palavras-chave: Corrosão por Cloretos; Concreto Magro; Impermeabilização; Durabilidade de Fundações; Nitrato de Prata.

ABSTRACT – Chloride ion-induced reinforcement corrosion is one of the main causes of deterioration in reinforced concrete structures located in coastal areas. This study analyzes the effectiveness of lean concrete blinding as a protective barrier for shallow foundations. Three configurations were evaluated: conventional lean concrete, concrete with a crystalline waterproofing admixture, and conventional concrete with asphalt coating at the interface. The tests used soil and seawater from the Santos region, São Paulo, Brazil, with qualitative chloride identification using silver nitrate ($AgNO_3$). The results indicated that conventional concrete and the crystalline admixture did not prevent salt penetration. In contrast, the asphalt coating blocked chloride migration into the footing, demonstrating greater effectiveness as a physical barrier.

Keywords: Chloride-Induced Corrosion; Lean Concrete Blinding; Waterproofing; Foundation Durability; Silver Nitrate.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado destaca-se por sua resistência mecânica e versatilidade, mas sofre degradação em ambientes expostos a agentes agressivos. A corrosão das armaduras é a manifestação patológica mais comum, ocorrendo quando substâncias externas superam a camada de cobrimento e destroem a película passivadora do aço. Dentre estas substâncias, os íons cloreto (Cl^-) possuem alta capacidade de penetração na matriz porosa por processos eletroquímicos pontuais (corrosão por pites).

Nas fundações rasas (sapatas), o contato direto com o solo e o lençol freático eleva o risco de deterioração. Tradicionalmente, o lastro de concreto magro atua apenas na regularização e no isolamento físico da base estrutural com o terreno. Todavia, quando associado a modificadores químicos ou barreiras físicas, ele pode se converter em uma camada de sacrifício protetora. Este estudo propõe avaliar comparativamente o comportamento de lastros de concreto magro submetidos a tratamentos de impermeabilização contra o ataque de cloretos.

Tema: Análise do lastro de concreto magro como barreira físico-química contra a ação de íons cloreto em fundações de concreto armado.

Justificativa: A reabilitação de estruturas enterradas possui alta complexidade e elevado custo. Estudar o lastro modificado oferece soluções preventivas de baixo custo para o aumento da vida útil do elemento estrutural.

1.1. Objetivos e Hipóteses

O **objetivo geral** é analisar o comportamento do lastro de concreto magro modificado como barreira protetora contra a difusão de cloretos. Os **objetivos específicos** englobam: o estudo dos mecanismos de transporte capilar; a moldagem de modelos em escala reduzida utilizando solo e água do mar de Santos/SP para simulação de agressividade; e a validação do ensaio em laboratório sob os critérios estruturais orientados.

As **hipóteses** testadas no programa experimental são:

H1: O lastro com aditivo cristalizante reduzirá expressivamente a absorção capilar e apresentará a menor profundidade de contaminação devido ao fechamento químico dos poros.

ISSN 2317-1316

H2: O lastro com pintura asfáltica agirá como barreira física isolante, mas apresentará vulnerabilidade na interface se exposto a fissuras ou falhas de aderência.

H3: O lastro convencional (controle) permitirá o ingresso acelerado de cloretos, despassivando a armadura precocemente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Durabilidade, Vida Útil e Agressividade Ambiental

A durabilidade consiste na capacidade intrínseca da estrutura em resistir às influências ambientais previstas em projeto, enquanto a vida útil compreende o período em que os níveis mínimos de desempenho e segurança são atendidos. De acordo com os modelos clássicos de degradação (como o modelo de Tuutti), a vida útil divide-se em: **iniciação** (tempo de transporte dos agentes pelo cobrimento até o aço) e **propagação** (desenvolvimento da corrosão até o limite aceitável de dano).

A norma ABNT NBR 6118 classifica zonas litorâneas sob as Classes de Agressividade Ambiental (CAA) III ou IV (Forte a Muito Forte), exigindo concretos de alta compacidade e maior cobrimento nominal.

2.2. Corrosão Eletroquímica por Cloretos e Mecanismos de Transporte

Diferente da carbonatação, os íons cloreto rompem localizadamente o filme passivo gerado pela alta alcalinidade do concreto, gerando pites de corrosão que reduzem drasticamente a seção transversal das barras metálicas. O processo é autocatalítico: o ferro oxida-se no ânodo, ligando-se aos cloretos para formar o complexo solúvel cloreto de ferro $FeCl_2$. Este, ao sofrer hidrólise na presença de umidade, libera novamente os íons Cl^- para atacar a armadura em ciclo contínuo, reduzindo o pH local pela liberação de íons H^+

Os cloretos alcançam a armadura por meio de quatro mecanismos de transporte através da rede de poros conectados do concreto:

1. **Permeabilidade:** Movimentação induzida por gradiente de pressão hidráulica (predominante em estruturas submersas).

ISSN 2317-1316

2. **Absorção Capilar:** Sucção do fluido pela tensão superficial em poros secos ou parcialmente saturados (comum em zonas de variação do lençol freático).
3. **Difusão:** Transporte iônico gerado por gradiente de concentração, sem necessidade de movimentação do fluido.
4. **Migração:** Movimentação forçada por diferença de potencial elétrico.

A despassivação ocorre quando o teor de cloretos atinge o limite crítico de 0,2% em relação à massa de cimento (conforme parâmetros da ABNT NBR 12655).

2.3. Tecnologias de Impermeabilização e o Lastro de Concreto Magro

As diretrizes da ABNT NBR 6122 impõem uma espessura mínima de 5 cm de concreto magro para regularização de fundações superficiais. Por possuir baixo consumo de cimento, o lastro convencional apresenta alta porosidade.

Para torná-lo estanque, são aplicadas duas abordagens principais: os **sistemas rígidos**, compostos por aditivos cristalizantes que reagem com os subprodutos da hidratação do cimento, gerando cristais insolúveis que vedam os capilares internos; e os **sistemas flexíveis/barreiras físicas**, como as pinturas asfálticas (compostas por primer e tintas betuminosas), que vedam a superfície do elemento contra a umidade externa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dimensionamento Estrutural e Modelagem em Escala Reduzida

O modelo de referência foi estabelecido a partir de uma sapata isolada rígida real projetada para suportar um pilar de 80 x 80 cm sob carga vertical de 214,00 tf, considerando uma tensão admissível do solo (σadm) de 0,25 MPa. Para fins de viabilidade laboratorial, adotou-se o princípio da proporcionalidade geométrica, reduzindo as dimensões das sapatas ensaiadas para blocos em escala de 0,30 x 0,30 m. Todos os cálculos seguiram os preceitos normativos da ABNT NBR 6122.

ISSN 2317-1316

3.2. Dosagem do Concreto e Insumos Utilizados

A dosagem do concreto seguiu o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Adotou-se o cimento Portland CP II-E-32 devido ao teor de escória de alto-forno, o que minimiza a permeabilidade da matriz. A especificação detalhada dos insumos e suas respectivas aplicações nos grupos de teste estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação dos materiais utilizados no programa experimental

Material	Tipo / Especificação	Função no Experimento
Cimento Portland	CP II-F ou CP V-ARI (ajuste conforme o seu)	Matriz aglomerante para o concreto estrutural e magro
Agregado Miúdo	Areia quartzosa média	Componente da matriz cimentícia
Agregado Graúdo	Brita 1 e Brita 0	Esqueleto granulométrico do concreto
Água	Potável	Hidratação do cimento e reação química
Aço	Barras CA-50 (Ø 6.3 mm ou 8.0 mm)	Armadura estrutural da sapata em escala reduzida
Aditivo Cristalizante	Monocomponente em pó	Modificador químico por bloqueio dos poros
Pintura Asfáltica	Primer + Tinta betuminosa	Barreira física externa impermeabilizante
Meio Agressivo	Solo e água do mar (Santos/SP)	Indução de corrosão acelerada por íons cloreto

Fonte: AUTORAL.

3.3. Configuração dos Grupos e Simulação de Agressividade

As amostras foram avaliadas em três cenários de proteção:

Grupo A (Controle): Sapata moldada sobre lastro de concreto magro convencional limpo.

Grupo B (Químico): Sapata moldada sobre lastro de concreto magro dosado com aditivo cristalizante por integralidade.

Grupo C (Pintura): Sapata moldada sobre lastro convencional revestido com pintura asfáltica superficial.

Para a indução da corrosão acelerada, os modelos foram inseridos em um tanque estanque preenchido com areia e saturado com água do mar proveniente da região litorânea de Santos/SP. O nível de fluido foi mantido constante para garantir o transporte ininterrupto por sucção capilar em direção às sapatas.

3.4. Protocolo de Análise dos Resultados

ISSN 2317-1316

Após o período determinado de exposição, as amostras de concreto magro e as sapatas correspondentes passarão por uma ruptura controlada. A avaliação da frente de contaminação será executada por método colorimétrico qualitativo através da aspersão de uma solução de nitrato de prata nas superfícies fraturadas.

Nas áreas atingidas por cloretos livres ocorrerá uma reação química com alteração de coloração clara, enquanto as regiões preservadas (isentas de contaminação) manterão uma tonalidade escura. Complementarmente, serão inspecionadas manifestações patológicas externas, como manchas de umidade, fissuras de expansão e oxidação superficial do aço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Contextualização do Ensaio e Dinâmica de Exposição

Os modelos em escala reduzida (0,30 m x 0,30 m) foram submetidos ao ensaio de corrosão acelerada em tanque estanque saturado com solo e água do mar da orla de Santos/SP. Durante o período de ensaio, o nível da solução salina foi mantido constante para garantir o transporte ininterrupto de íons cloreto (Cl^-) e água por sucção capilar em direção à base do lastro e à sapata.

Após o período fixado de saturação e exposição severa aos agentes agressivos, as sapatas e seus respectivos lastros de concreto magro foram submetidos à fratura mecânica controlada. A profundidade de penetração e a frente de contaminação foram mapeadas por meio de análise colorimétrica qualitativa, utilizando aspersão de solução de Nitrato de Prata ($AgNO_3$) a 0,1 mol/L sobre as superfícies recém-fraturadas.

A reação fotoquímica do nitrato de prata com os cloretos livres produz um precipitado esbranquiçado de Cloreto de Prata (AgCl), delimitando com clareza as regiões contaminadas. Já nas zonas não contaminadas (isentas de cloretos livres), o nitrato de prata reage com a hidroxila (OH^-) da matriz alcalina do concreto, formando um precipitado escuro/castanho de Óxido de Prata (Ag_2O).

4.2. Análise Comportamental dos Grupos de Estudo

4.2.1. Sapata 1 — Lastro de Concreto Magro Convencional (Grupo A)

ISSN 2317-1316

Na amostragem correspondente à Sapata 1, a aspersão do nitrato de prata revela uma coloração clara homogênea em toda a seção transversal do lastro de concreto magro e na zona inferior de cobrimento da sapata.

- **Comportamento Mecânico-Poroso:** O lastro convencional, dosado sem modificadores químicos e com baixo consumo de cimento, apresentou elevada porosidade e interconectividade de capilares.
- **Mecanismo de Transporte:** A sucção capilar induzida pelo contato direto com o solo saturado permitiu que a solução salina atingisse a espessura total do lastro em um curto intervalo de tempo.
- **Impacto na Durabilidade:** O lastro convencional funcionou apenas como regularização do terreno, falhando completamente em atuar como barreira físico-química. Os íons cloreto ultrapassaram a interface e iniciaram o processo de despassivação do aço da armadura da sapata.

4.2.2. Sapata 2 — Lastro de Concreto Magro com Aditivo Cristalizante Incorporado (Grupo B)

A análise da Sapata 2 indicou que o aditivo cristalizante por integralidade adicionado ao lastro não impediu a penetração dos íons cloreto, apresentando precipitação clara de cloreto de prata em toda a espessura do lastro e na base do elemento estrutural.

- **Ineficácia do Cristalizante no Concreto Magro:** A ação de selamento de poros promovida pelos aditivos cristalizantes depende da presença de elevado teor de silicatos e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), subprodutos da hidratação do cimento. Em traços de concreto magro (com baixo consumo de cimento e elevada relação água/cimento), a matriz porosa é demasiadamente aberta.
- **Limitação Física de Formação de Cristais:** As agulhas cristalinas formadas pela reação do aditivo não foram suficientes para obliterar a extensa rede de macroporos e capilares conectados.
- **Conclusão para o Grupo B:** A taxa de difusão e absorção capilar dos cloretos superou a velocidade de reação e vedação química do aditivo. Como consequência, a ação do cristalizante não foi eficaz e não preveniu a migração dos cloretos até a sapata.

ISSN 2317-1316

4.2.3. Sapata 3 — Lastro de Concreto Magro com 2 Demãos de Pintura Asfáltica / Neltrol (Grupo C)

O Grupo C apresentou a dinâmica de proteção mais distinta entre as configurações testadas. A fratura mecânica e o teste colorimétrico revelaram dois comportamentos claramente delimitados na interface entre o lastro e a sapata:

- **Comportamento no Lastro:** O lastro de concreto magro subjacente sofreu impregnação e penetração integral dos íons cloreto. A aspersão de $AgNO_3$ resultou em coloração clara no corpo do lastro, comprovando que a água salina penetrou livremente pelo concreto magro não aditivado.
- **Desempenho da Barreira de Neltrol (Pintura Asfáltica):** A película contínua formada pelas 2 demãos de pintura asfáltica (Neltrol) aplicadas sobre o lastro funcionou como uma membrana hidrófoba e estanque.
- **Proteção da Sapata:** Os íons cloreto penetraram no lastro, mas não ultrapassaram a barreira física da pintura asfáltica. A seção da Sapata 3 permaneceu com coloração escura/castanha após a aplicação de nitrato de prata, indicando ausência de cloretos livres no concreto armado estrutural.

4.3. Quadro Comparativo dos Resultados Experimentais

Grupo / Elemento	Tipo de Tratamento / Barreira	Penetração de Cl^- no Lastro	Permeação de Cl^- para a Sapata	Estado do Aço da Armadura	Eficiência da Barreira
Sapata 1 (Grupo A)	Lastro Convencional	SIM (Total)	SIM (Atingiu o cobrimento)	Despassivação Precoce / Risco Alto	Nula (0%)
Sapata 2 (Grupo B)	Cristalizante Incorporado	SIM (Total)	SIM (Atingiu o cobrimento)	Ação ineficaz do cristalizante / Risco Alto	Insuficiente

ISSN 2317-1316

Grupo / Elemento	Tipo de Tratamento / Barreira	Penetração de Cl^- no Lastro	Permeação de Cl^- para a Sapata	Estado do Aço da Armadura	Eficiência da Barreira
Sapata 3 (Grupo C)	2 demãos de Neltrol	SIM (No lastro)	NÃO (Bloqueado na interface)	Armadura Preservada / Risco Nulo	Elevada (100%)

Tabela 2 – Tabela Comparativo dos Resultados Experimentais

Fonte: AUTORAL.

4.4. Discussão Teórico-Prática e Implicações de Projeto

1. **A Função do Concreto Magro:** O experimento demonstra que considerar o lastro de concreto magro convencional como elemento de proteção contra agressividade ambiental (Classes III e IV da NBR 6118) é um equívoco de projeto. Por sua porosidade natural, ele atua como meio facilitador do transporte capilar.
2. **Incompatibilidade Teórico-Prática dos Cristalizantes em Concretos Pobres:** Embora os aditivos cristalizantes possuam excelente histórico em concretos estruturais com fck elevado, sua aplicação em matrizes de baixo consumo cimentício (como o lastro de concreto magro) mostra-se ineficiente devido à escassez de subprodutos hidratados necessários para o crescimento da rede cristalina.
3. **A Supremacia da Barreira Física Contínua:** A pintura asfáltica (Neltrol) mostrou que a criação de uma descontinuidade física/hidrófoba é o método mais seguro para impedir a migração iônica. Mesmo que o lastro abaixo esteja completamente contaminado e saturado por cloretos, a interrupção da capilaridade na interface garante a preservação do cobrimento e estende significativamente a Vida Útil de Projeto (VUP) da fundação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ISSN 2317-1316

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª Edição. São Paulo: Pini, 1992.

RIBEIRO, Daniel Véras. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2014.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion of steel in concrete**. Tese (Doutorado) – Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1982.