

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/198

**Aderência Argamassa - Armadura:
Influência de Revestimentos
Ricos em Zinco**

Mario Morio Isa
Paulo Helene

São Paulo - 1998

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Boletim Técnico - Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Antônio Marcos de Aguirra Massola
Vice-Diretor: Prof. Dr. Vahan Agopyan

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. João da Rocha Lima Junior

Conselho Editorial
Prof. Dr. Alex Abiko
Prof. Dr. Francisco Cardoso
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves
Prof. Dr. Antônio Domingues de Figueiredo
Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenador Técnico
Prof. Dr. Alex Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Este texto faz parte da tese de doutorado: "Aderência Concreto-Armadura: Influência da Corrossão e da Proteção Catódica" que se encontra à disposição com os autores ou na biblioteca da Engenharia Civil.

FICHA CATALOGRÁFICA

Isa, Mario Morio
Aderência argamassa-armadura : influência de revestimentos ricos em zinco / M.M. Isa, P.R.L. Helene -- São Paulo : EPUSP, 1998.
8 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/198)

1. Estruturas de concreto armado - Argamassa I. Helene, Paulo Roberto do Lago II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil III. Título IV. Série ISSN 0103-9830 CDU 624.012.45-033.2

ADERÊNCIA ARGAMASSA - ARMADURA: INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS RICOS EM ZINCO.

ISA, Mario M. (1); HELENE, Paulo R. L. (2)

(1) Eng. Civil, Doutor em Engenharia, Prof. do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia - UNESP - Bauru, R. Romildo Brunhari, 4-68 - CEP 17044-100 - Bauru - SP. Fax (014) 231-1718 - E-mail marioisa@bauru.unesp.br

(2) Erg. Civil, Doutor em Engenharia, Professor Titular do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP. Av. Prof Luciano Gualberto, travessa 3, n. 3 80 - CEP 05424 970, Fax (0 11) 818-5444 - SP. helene@pcc.usp.br

RESUMO

Este trabalho propõe-se a estudar o comportamento da aderência entre a argamassa e a armadura apresentando as condições superficiais decorrentes do reparo por revestimentos ricos em zinco com veiculos orgânico e inorgânico.

A aderência da armadura de aço CA - 50A de conformação superficial nervurada à argamassa de reparo é determinada através de ensaio de arrancamento sob carregamento monotônico e de curta duração.

A análise e interpretação dos resultados permite concluir que as armaduras reparadas pelos revestimentos ricos em zinco apresentam comportamentos inferiores ao da armadura tratada com jato de areia (referência). A armadura reparada pelo revestimento inorgânico apresenta comportamento superior às protegidas pelos dois revestimentos orgânicos. Dentre estes, o que tem melhor comportamento é o que apresenta menor espessura de película seca.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos ricos em zinco pesquisados são aqueles que contém 75% a 95% em massa de zinco metálico, e têm veiculos orgânicos (epóxi) ou inorgânico (etil silicato) (MAYNE; EVANS, 1944). Esta classe de revestimentos encontra aplicação na proteção de aços em água do mar, ou em atmosferas industriais e marítimas. Segundo MAYNE (1947) o fator principal no desempenho anticorrosivo destes revestimentos é a concentração volumétrica do pigmento. MAYNE propôs que para elevados teores de zinco, o contato metálico entre as partículas no revestimento e o aço era estabelecido imediatamente após inversão no eletrólito. Qualquer dissolução do zinco resultaria portanto na proteção catódica do substrato (aço).

Atualmente estes revestimentos têm sido utilizados em sistemas de reparos localizados em estruturas de concreto armado, conferindo à armadura (aço) proteção catódica tipo galvânica.

Este trabalho tem por objetivo verificar a influência exercida por estes revestimentos na aderência entre a armadura e a argamassa de reparo. O comportamento da aderência é estudado para três revestimentos ricos em zinco disponíveis comercialmente, dois de base orgânica (epóxi) e um de base inorgânica (etil silicato).

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O comportamento da aderência entre a argamassa de reparo e a armadura estudado com esta apresentando as seguintes condições superficiais:

- reparada com revestimento rico em zinco com veículo inorgânico (etil silicato) (revestimento 1).
- reparada com revestimento rico em zinco com veículo orgânico (epóxi) (revestimento 2).

- reparada com revestimento rico em zinco com veículo orgânico (epóxi) (revestimento 3).
- tratada com jato de areia (jateada) (referência).

2.1 Aplicação dos Revestimentos

A armadura de aço CA - 50 A, com diâmetro de 12,5mm, conformação superficial nervurada foi jateada com areia até o metal branco (condição Sa₃) (ISA, 1997). Esta condição superficial é utilizada com referência.

Após o jateamento da armadura foram aplicados os revestimentos 1 (Carbozinc 122), 2 (Nitroprimer Zn) e 3 (Sumazinc 1277), conforme as instruções constantes nos manuais dos fabricantes.

3. MÉTODO DE ENSAIO

A aderência entre a argamassa de reparo e a armadura é determinada através de arrancamento ("pull-out-test") proposto pela recomendação de RILEM/CEB/FIP (1977, 1979).

4. RESULTADOS: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE

O ensaio de arrancamento é realizado com algumas modificações em relação à metodologia proposta pela recomendação RILEM/CEB/FIP (1977, 1979). A máquina de ensaio é programada para aplicar 1000kgf no intervalo de tempo de 30 segundos, de forma monotônica e crescente até a ruptura da aderência. Nas Tabelas 1,2,3 e 4 apresentam-se os valores das forças e deslizamentos para a armadura jateada (referência) e as armaduras com os revestimentos 1,2 e 3. Com estes valores constrói-se o gráfico da Figura 1, onde se apresenta o comportamento da aderência para as condições superficiais em estudo.

Analisando a Figura 1 verifica-se que o corpo-de-prova de arrancamento com a armadura jateada (referência) apresenta melhor comportamento. Até 500kgf não houve deslizamento. O jateamento com areia até o metal branco torna a superfície da barra mais reativa, o que aumenta a sua capacidade de reagir com os produtos de hidratação do cimento. Porém, como o jato de areia é aplicado perpendicularmente à superfície da armadura, a carepa de laminação é totalmente removida. Esta remoção modifica as condições superficiais das armaduras, diminuindo principalmente a altura das nervuras, pois as suas áreas de topo são as mais atingidas, o que acarreta menor resistência mecânica ao deslizamento. Apesar disto, o comportamento da armadura é superior ao das armaduras reparadas pelos revestimentos catódicos.

Dentre as armaduras reparadas pelas tintas ricas em zinco, a que apresenta melhor desempenho é a protegida pelo revestimento 1. Este revestimento apresenta como veículo o etil silicato (inorgânico), com espessura de película seca de 75µm. Esta camada impede parcialmente as reações entre o zinco e os produtos de hidratação do cimento, que provoca a ação de colagem responsável pela adesão química. Os revestimentos 2 e 3 apresentam o mesmo veículo orgânico (epóxi), que além de impedir as reações responsáveis pela ação de colagem, são extremamente lisas. Isto justifica o fato das armaduras reparadas pelos revestimentos 2 e 3 apresentarem praticamente o mesmo desempenho, inferior aos da armadura de referência e da armadura reparada com a tinta rica em zinco 1.

O tipo de veículo e a espessura de película seca são as características dos revestimentos catódicos que modificam os parâmetros da área nervurada relativa. O revestimento 1 tem como veículo o etil silicato que apresenta uma superfície com maior rugosidade do que as dos revestimentos orgânicos 2 e 3, cujo veículo é o epóxi.

Este fato justifica o melhor desempenho da armadura reparada com este revestimento do que as protegidas pelos dois revestimentos de veículo orgânico. Ou seja, em relação a adesão química, sendo a superfície de armadura com revestimento inorgânico mais rugosa e apresentando uma certa porosidade que permite a reação do zinco com os produtos de hidratação do cimento, responsáveis pela ação de colagem. O epóxi além de gerar uma superfície mais fisa, obstaculiza essa reação diminuindo não só a formação destes produtos como a sua ação de colagem ao metal - base.

A espessura de película seca, modifica os parâmetros da área nervurada relativa e conseqüentemente as características geométricas dos consoles. O melhor desempenho da armadura com revestimento 1 pode ser explicado pela maior capacidade de fixar os consoles de concreto ao metal - base, do que as protegidas pelos revestimentos orgânicos.

Em relação a resistência por atrito, a armadura reparada com o revestimento 1 apresenta maior rugosidade do que as protegidas com os revestimentos 2 e 3 e portanto maior coeficiente de atrito.

Nota-se também que o desempenho da armadura com o revestimento 2 é sensivelmente superior ao da armadura com revestimento 3. Esta apresenta espessura de película seca de 65 µm superior aos 40µm da armadura com revestimento 2, conseqüentemente produz maiores alterações nas características geométricas dos consoles responsáveis pela aderência mecânica.

Em relação ao atrito, como as duas condições superficiais apresentam superfície de mesma natureza (epóxi), verifica-se na Fig. 1 que até que ocorra a ruptura da aderência, as curvas praticamente se superpõem.

A resistência de aderência para as condições superficiais de reparo podem ser quantificadas pela expressão:

$$\tau_b = 0,003418 P \text{ (MPa)}$$

Com os valores de P_{10} , P_{100} e P_r correspondentes a deslizamentos de 10µm, 100µm e de ruptura, calcula-se os valores de τ_{b10} , τ_{b100} , τ_{br} , e τ_{bm} . apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8.

O exame da Fig. 2 permite concluir que as resistências médias e de ruptura para a armadura jateada (referência) são superiores aos valores apresentados pelas condições superficiais de reparo, reforçando as condições estabelecidas na análise da Fig. 1. Verifica-se também que a armadura com o revestimento 1 apresenta resistências média e de ruptura significativamente superiores as das armaduras com os revestimentos orgânicos 2 e 3. Consta-se também que os valores destas resistências para as armaduras reparadas com os revestimentos 2 e 3 corroboram a afirmação de apresentarem praticamente o mesmo comportamento, com ligeira superioridade para a armadura com o revestimento 2.

5. CONCLUSÕES

A aderência entre a argamassa de reparo e a armadura protegida pelos revestimentos catódicos tipo galvânica dependem do tipo de veículo e da espessura de película seca. O revestimento 1 com veículo inorgânico (etil silicato) apresenta um comportamento superior aos revestimentos 2 e 3 com veículo (epóxi). Entre os revestimentos orgânicos o que apresenta melhor desempenho é o revestimento 2 cuja espessura de película seca é menor do que a do revestimento 3.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp pelos equiparmentos, à CNPq pela bolsa -deslocamento, e as empresas Gerdau (aço), Fosroc e Sumaré Tintas (revestimentos), Eldorado (cimento) e Predreira Embu (agregados).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAIDI, S. E; SCANTLEBURY, J. D.; COSTA, I. Comportamento eletroquímico de revestimentos de epóxi contendo zinco sobre aço doce. In: **II Seminário de Pintura Industrial e Naval**, Salvador, nov. 1992, p. 60 - 71.

ISA, M. M.; **Aderência concreto-armadura: influência da corrosão e da proteção catódica**. São Paulo, 1997. Tese (Doutoramento). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MAYNE, J. E. O.; EVANS, W. R. **Society Chemical Industrial Revue**, London, 1944, v. 22, p. 109.

MAYNE, J. E. O.; **Journal of Society Chemical Industrial**, London, 1947, v.66, p.93.

RILEM/CEB/FIP. Recommendation RC6 - Essais portant sur L'adherence de armatures du beton 2. Essais par traction. **Bulletin d'Information du Comite Euro -International du Beton**, n. 118, dec. 1977/nov. 1979.

ANEXOS

TABELA 1. Valores de força e de deslizamento para a armadura jateada (referência) em ensaio de arrancamento

P (kgf)	c.p.1 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.2 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.3 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.4 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.5 $\Delta(\mu\text{m})$	MÉDIA $\Delta(\mu\text{m})$	DES.PAD. dp($\mu\text{m})$	COE.VAR c.v.(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	30	25	27	30	26	27,6	2,30	8,34
1500	65	75	70	78	75	72,6	5,13	7,06
2000	170	160	150	150	170	160	10,00	6,25
2500	275	250	260	250	265	288	10,61	4,08
3000	350	380	375	355	365	365	12,75	3,49
3500	500	480	490	480	470	484	11,40	2,36
4000	700	715	675	680	710	696	17,82	2,56
4500	1040	1050	1055	1080	1075	1060	16,96	1,60

TABELA 2. Valores de força e de deslizamento para a armadura protegida pelo revestimento 1 em ensaio de arrancamento.

P (kgf)	c.p.1 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.2 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.3 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.4 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.5 $\Delta(\mu\text{m})$	MÉDIA $\Delta(\mu\text{m})$	DES.PAD. dp($\mu\text{m})$	COEVAR. c.v.(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	40	35	45	40	40	40	3,54	8,84
1500	100	115	95	90	100	100	9,35	9,35
2000	215	200	200	195	200	202	7,58	3,75
2500	300	305	315	330	340	318	16,81	5,29
3000	475	470	480	465	465	471	6,52	1,38
3500	625	590	620	620	630	617	15,65	2,54
4000	825	785	815	795	820	808	17,18	2,13

TABELA 3. Valores de força e de deslizamento para a armadura protegida pelo revestimento 2 em ensaio de arrancamento.

P (kgf)	c.p.1 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.2 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.3 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.4 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.5 $\Delta(\mu\text{m})$	MÉDIA $\Delta(\mu\text{m})$	DES.PAD. dp($\mu\text{m})$	COE.VAR. c.v.(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	65	45	55	55	55	55	7,07	12,86
1500	125	100	150	100	140	123	14,83	12,06
2000	250	250	220	220	235	235	15,00	6,38
2500	375	390	400	375	385	385	10,61	2,75
3000	570	555	545	545	580	559	15,57	2,79
3500	775	790	820	800	800	797	16,43	2,06
4000	1150	1160	1140	1120	1130	1140	15,81	1,39

TABELA 4. Valores de força e de deslizamento para a armadura protegida pelo revestimento 3 em ensaio de arrancamento.

P (kgf)	c.p.1 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.2 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.3 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.4 $\Delta(\mu\text{m})$	c.p.5 $\Delta(\mu\text{m})$	MÉDIA $\Delta(\mu\text{m})$	DES.PAD. dp($\mu\text{m})$	COE.VAR. c.v.(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	90	110	75	70	70	83	17,18	20,69
1500	180	188	170	170	190	179,6	9,53	5,31
2000	290	310	300	320	285	301	14,32	4,76
2500	440	450	420	450	420	436	15,17	3,48
3000	595	625	635	620	620	619	14,75	2,38
3500	855	853	833	870	840	850,2	14,34	1,69
4000	1190	1188	1180	1160	1180	1179,6	11,87	1,01

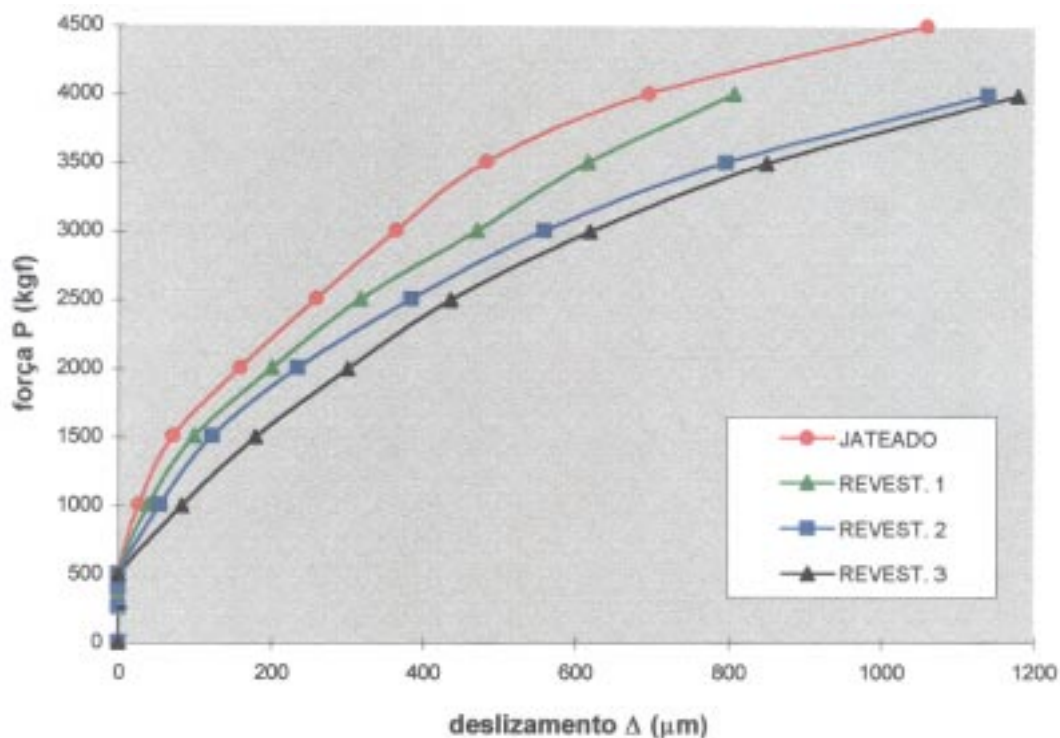


FIGURA 1. Comportamento da aderência para a armadura jateada e as protegidas por revestimentos catódicos tipo galvânica 1, 2, e 3 em ensaio de arrancamento.

TABELA 5. Valores de τ_{b10} , τ_{b100} , τ_{br} e τ_{bm} para a armadura jateada (referência) em ensaio de arrancamento.

τ_b (MPa)	c.p.1	c.p.2	c.p.3	c.p.4	c.p.5	MÉDIA (MPa)	DES.PAD (MPa)	COE.VAR. (%)
τ_{bm}	10,49	10,55	10,47	10,50	10,68	10,54	0,09	0,81
τ_{br}	16,68	16,92	16,41	16,75	16,99	16,75	0,23	1,36

TABELA 6. Valores de τ_{b10} , τ_{b100} , τ_{br} e τ_{bm} para a armadura reparada com o revestimento 1 em ensaio de arrancamento.

τ_b (MPa)	c.p.1	c.p.2	c.p.3	c.p.4	c.p.5	MÉDIA (MPa)	DES.PAD (MPa)	COE.VAR. (%)
τ_{bm}	9,37	9,02	9,49	9,30	9,15	9,00	0,18	1,99
τ_{br}	14,75	14,53	15,04	14,70	14,36	15,00	0,26	1,75

TABELA 7. Valores de τ_{b10} , τ_{b100} , τ_{br} e τ_{bm} para a armadura reparada com o revestimento 2 em ensaio de arrancamento.

τ_b (MPa)	c.p.1	c.p.2	c.p.3	c.p.4	c.p.5	MÉDIA (MPa)	DES.PAD (MPa)	COEVAR. (%)
τ_{bm}	8,48	8,12	8,34	8,16	8,52	8,32	0,18	2,19
τ_{br}	14,10	13,67	13,67	13,33	14,36	13,83	0,40	2,91

TABELA 8. Valores de τ_{b10} , τ_{b100} , τ_{br} e τ_{bm} para a armadura reparada com o revestimento 3 em ensaio de arrancamento.

τ_b (MPa)	c.p.1	c.p.2	c.p.3	c.p.4	c.p.5	MÉDIA (MPa)	DES.PAD (MPa)	COEVAR. (%)
τ_{bm}	8,33	8,13	8,25	8,29	8,06	8,00	0,11	1,38
τ_{br}	14,17	13,98	13,91	13,74	13,84	14,00	0,16	1,15

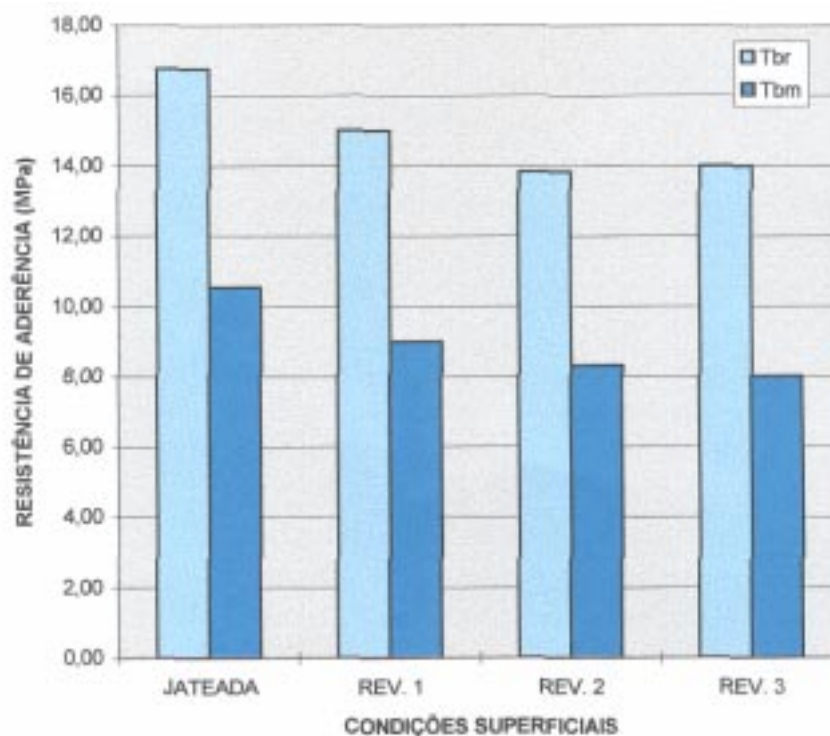


FIGURA 2. Valores de τ_{bm} e τ_{br} para as armaduras jateada e reparadas com os revestimento 1, 2 e 3 em ensaio de arrancamento.

BOLETINS TÉCNICOS PUBLICADOS

- BT/PCC/181 - Concreto Projetado com Fibras de Aço para Túneis - ANTONIO D. DE FIGUEIREDO, PAULO HELENE.
- BT/PCC/ 182 - Estruturação de Sistemas de Informação para Projeto dos Sistemas Hidráulicos Prediais -SIMAR VIEIRA DE AMORIM, ORESTES MARRACCINI GONÇALVES.
- BT/PCC/183 - Concreto Projetado como Revestimento de Túneis - GIOVANNI PALERMO, PAULO HELENE
- BT/PCC/184 - Seleção de Substâncias Retardadoras do Tempo de Pega do Gesso de Construção - ANGELA MARIA HINCAPIÉ HENAO, MARIA ALBA CINCOTTO.
- BT/PCC/ 185 - Vantagens e Desvantagens de Argamassas Produzidas com Entulho de Obra, Finamente Moído SALOMON MONY LEVY, PAULO HELENE.
- BT/PCC/186 - Os Sistemas Operacionais para Securitização de Portfólios Imobiliários e de Base Imobiliária Via Debêntures - JOÃO DA ROCHA LIMA JR.
- BT/PCC/ 187 - Fundos de Investimento Imobiliário, com Portifólio de Base Imobiliária: Notas sobre a Depreciação do Ativo - JOÃO DA ROCHA LIMA JR.
- BT/PCC/188 - Diretrizes para Garantia da Qualidade do Projeto na Produção de Edifícios Habitacionais -CELSO CARLOS NOVAES, LUIZ SÉRGIO FRANCO.
- BT/PCC/ 189 - A Inserção do Projeto dos Revestimentos de Argamassa de Fachada no Processo de Produção do Edifício - LUCIANA LEONE MACIEL, SILVIO BURRATTINO MELHADO.
- BT/PCC/190 - Metodologia para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte - ROBERTO DE SOUZA, ALEX KENYA ABIKO
- BT/PCC/ 191 - Desenvolvimento de Sistemas da Qualidade para Indústrias de Pré-Fabricados de Concreto de Acordo com as Diretrizes da Série de Normas NBR - ISO 9000 - GERALDO MEKBEKIAN, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/192 - Durability of Concrete - JEAN-PIERRE OLLIVIER
- BT/PCC/193 - Aço Carbono em Pastas de Gesso de Construção - Estimativas de Taxas de Corrosão por Impedância e por Método Gravimétrico Conjugado à Análise de Imagem - SILVIA MARIA DE SOUZA SELMO, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/194 - Caracterização da Madeira de Eucalipto para a Construção Civil - JOSÉ TARCÍSIO DA SILVA OLIVEIRA, JOÃO CESAR HELLMEISTER
- BT/PCC/195 - Sistemas de Recuperação de Fissuras da Alvenaria de Vedação: Avaliação da Capacidade de Deformação - ALBERTO CASADO LORSLEEM JUNIOR, LUIZ SÉRGIO FRANCO
- BT/PCC/196 - Considerações Gerais sobre os Sistemas de Impermeabilização dos Pisos do Pavimento-Tipo de Edifícios - JULIO CESAR SABADINI DE SOUZA, SILVIO BURRATTINO MELHADO
- BT/PCC/197 - Estudo de caso de uma estrutura de concreto com corrosão por carbonatação - Análise da velocidade instantânea de corrosão das armaduras usando o GECOR6 - NÉLSON EMILIO DIAZ BRITO, DORVAL AGUIAR, SILVIA SELMO, PAULO HELENE.
- BT/PCC/198 - Aderência argamassa - armadura: influências de revestimentos ricos em zinco - MARIO MORIO ISA, PAULO R. L. HELENE

Escola Politécnica da USP - Deptº de Engenharia de Construção Civil
Edifício de Engenharia Civil - Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2
Cidade Universitária - CEP 05508-900 - São Paulo - SP - Brasil
Fax: (011)8185715- Fone: (011) 8185452 - E-mail: secretaria@pcc.usp.br