

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS ENDURECEDORES  
SUPERFICIAIS CIMENTÍCIOS NA RESISTÊNCIA À  
ABRASÃO DE PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO**

**Fábio André Vecili**

Porto Alegre  
fevereiro 2004

**FÁBIO ANDRÉ VIECILI**

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS ENDURECEDORES  
SUPERFICIAIS CIMENTÍCIOS NA RESISTÊNCIA À  
ABRASÃO DE PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado  
Profissionalizante da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia na modalidade Profissional.

Porto Alegre  
fevereiro 2004

V656i Viecili, Fábio André

Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto / Fábio André Viecili. – 2004.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação: Prof. Dr. Ruy Alberto Cremonini

1. Cimento – Ensaios. 2. Construção civil.  
I. Cremonini, Ruy Alberto, orient. II. Título

CDU-691.32(043)

**FÁBIO ANDRÉ VIECILI**

**INFLUÊNCIA DOS ENDURECEDORES SUPERFICIAIS  
CIMENTÍCIOS NA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DE PISOS  
INDUSTRIAIS DE CONCRETO**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, janeiro de 2006

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela EPUSP  
Orientador

Prof.a Helena Beatriz Cybis  
Coordenadora do Curso

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof.a Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)**  
Dr.a pela EPUSP

**Eng. Fernanda Pereira Vieira (CIENCEC)**  
Dr.a pela UFRGS

**Prof.a Ana Luiza Abitante (UFRGS)**  
Dr.a pela UFRGS

Este trabalho é dedicado aos meus pais Euclides  
e Orsolina, e à minha namorada Cinara.

## AGRADECIMENTOS

A **MBT Brasil**, representada pelos Srs. Fernando Matias e Paulo Santos, pelo grande apoio demonstrado ao longo do curso.

Ao Prof. **Ruy Alberto Cremonini**, orientador deste trabalho, pela amizade, orientações e discussões sempre produtivas.

Ao Engº **Airton Fontanive**, responsável técnico da Concresul, pela disposição em ajudar e pela constante contribuição.

Ao acadêmico **Fábio Presotto**, laboratorista da Concresul, pelo empenho e preocupação na realização dos ensaios.

A **Concresul**, pela doação do concreto, por ter cedido o laboratório e o espaço para as moldagens.

A **Zorzin Pisos**, na pessoa de seu diretor Sr. Ivan Zorzin, pelo fornecimento de equipamento e pessoal para a moldagem.

A **CIENTEC**, pela viabilização de um maior número de ensaios, representada pelo Engº Fernando Recena e Engª Fernanda Vieira.

A **Cínara**, pelo companheirismo e disposição em sempre ajudar, dedicando muitas vezes os momentos de lazer para estar presente.

E a **todos** que contribuíram, direta ou indiretamente, para a elaboração deste trabalho.

É muito melhor  
arriscar coisas grandiosas  
alcançar triunfos e glórias  
mesmo se expondo a derrotas  
do que formar fila com os  
pobres de espírito,  
que nem gozam muito,  
nem sofrem muito,  
    porque vivem nesta  
    penumbra cinzenta  
    e não conhecem vitórias  
    nem derrotas.

*Theodore Roosevelt*

## RESUMO

VIECILI, F.A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto.** 2004. 99 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre. 2006.

Os projetos de pisos industriais de concreto no seu dimensionamento avaliam, na sua maioria, somente a sua resistência às cargas de utilização, não contemplando muitas vezes o desempenho da superfície do piso devido ao desgaste por abrasão. A resistência à abrasão é de grande importância quando o tráfego consiste na utilização de equipamentos com rodas rígidas, particularmente as metálicas para o transporte de cargas em centros de armazenagens e fábricas. Sabe-se que a resistência à abrasão do concreto varia com a relação água/aglomerante e a qualidade do agregado utilizado. Como alternativa ao aumento da resistência característica do concreto para um melhor desempenho à abrasão, surgem os tratamentos superficiais baseados em argamassas com cimento, aditivos especiais e agregados selecionados, podendo estes ser de origem mineral ou metálica. O emprego dos endurecedores superficiais possibilita tratar somente a superfície que está exposta ao desgaste superficial não sendo necessário o aumento da resistência característica em toda a espessura da placa de concreto. Neste trabalho, foram avaliados o desempenho dos endurecedores cimentícios compostos com agregados minerais e metálicos em três diferentes dosagens ( $4 \text{ kg/m}^2$ ,  $8 \text{ kg/m}^2$ ,  $12 \text{ kg/m}^2$ ) no tratamento superficial, do concreto com relação água/aglomerante 0,60 e o desempenho de concretos com diferentes relações água/aglomerante (0,45, 0,60 e 0,75) sem tratamento através de dois métodos de ensaio à abrasão. A análise dos resultados indica uma tendência que o uso dos endurecedores superficial cimentícios reduz o desgaste à abrasão, principalmente os compostos com agregados metálicos, e o seu emprego é viável economicamente.

Palavras-chave: resistência à abrasão; tratamento superficial, pisos de concreto, endurecedores cimentícios.

## ABSTRACT

VIECILI, F.A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto.** 2004. 99 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre. 2006.

### **Influence of dry-shake hardeners in the abrasion resistance of industrial concrete floor**

The project of industrial concrete floor on their dimensioning in most cases only consider the resistance of load. They often do not take into account the performance of the floor surface due the abrasion wear. The abrasion resistance is of great importance when the traffic consists of equipment with rigid wheels, particularly the metallic ones, to the transport of loads on storage centers and factories. It varies with the water/cementitious rate and the quality of the aggregates used in the concrete. The surface treatment based on dry-shake hardener, with special admixture and selected aggregates (mineral or metallic) have appeared as an alternative to increase of the wear resistance of concrete to better performance to abrasion. The use of dry-shake hardener make it possible to treat only the surface which is exposed to superficial wear, so there is no need the increase of the characteristic resistance in all the width of the concrete floor. In this work we evaluate the performance of mineral and metallic dry-shake in 3 different rates (4 kg/m<sup>2</sup>, 8 kg/m<sup>2</sup>, 12 kg/m<sup>2</sup>) in the surface treatment of concrete in relation to water/cementitious rate 0,60, and the performance of concrete with 3 different water/cementitious rate without treatment, through two methods of trial to abrasion. The analysis of the outcomes indicate a tendency that the use of dry-shakes reduces the abrasion waer mainly with metallic dry-shakes and its used is economically and feasible.

Key-words: abrasion resistance; surface treatment, concrete floors, dry-shake.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: piso de concreto simples: preparo da base para execução da concretagem .....	16
Figura 2: piso de concreto executado no sistema de damas .....	16
Figura 3: sistema construtivo em damas e estruturalmente armado .....	17
Figura 4: piso de concreto armado: detalhe do posicionamento das juntas .....	17
Figura 5: execução de piso estruturalmente armado .....	18
Figura 6: empilhadeira computadorizada .....	23
Figura 7: execução de pavimento em concreto simples na 3ª Perimetral em Porto Alegre/RS .....	25
Figura 8: armadura simples para combater a retração do concreto .....	26
Figura 9: piso de concreto estruturalmente armado .....	27
Figura 10: concreto com fibras metálicas utilizadas para reforço .....	28
Figura 11: piso de concreto protendido .....	29
Figura 12: classificação dos pisos de concreto segundo o comitê do ACI 302 .....	32
Figura 13: piso de concreto com capa aderida a base .....	33
Figura 14: especificação de resistência à compressão e abatimento, para concreto, segundo o comitê do ACI 302 .....	34
Figura 15: resultado da correlação entre resistência à compressão e à abrasão segundo WOODS .....	36
Figura 16: período de cura do concreto em função do tipo de cimento e das relação água/aglomerante .....	39
Figura 17: equipamento para ensaio de abrasão da CIENTEC .....	41
Figura 18: equipamento utilizado por LIU .....	42
Figura 19: equipamento de abrasão Los Angeles .....	43
Figura 20: equipamento de ensaio à abrasão pela ASTM C 779 .....	44
Figura 21: exigências da ABNT NBR 11.801 para argamassa de alta resistência .....	45
Figura 22: aplicação manual de endurecedor cimentício.....	49
Figura 23: aplicação mecânica de endurecedor cimentício .....	50
Figura 24: esquema de funcionamento do endurecedor cimentício.....	50
Figura 25: utilização do endurecedor cimentício colorido em supermercado.....	52
Figura 26: aplicação típica do endurecedor cimentício em centros de distribuição.....	52
Figura 27: piso industrial sujeito ao trânsito intenso, tratado com endurecedor cimentício com agregado metálico .....	54
Figura 28: detalhe da roda metálica, utilizada em alguns equipamentos industriais, que favorecem à abrasão da superfície do piso .....	54
Figura 29: resistência característica do concreto mais utilizada em pisos de concreto ....	57

Figura 30: composição química, resistência mecânica e índices físicos do cimento .....	58
Figura 31: caracterização da adição mineral .....	58
Figura 32: ensaio de uniformidade de aditivo .....	60
Figura 33: ensaio de abatimento de tronco de cone .....	61
Figura 34: corpos-de-prova para controle tecnológico .....	62
Figura 35: forma de madeira utilizada para moldagem dos corpos-de-prova .....	64
Figura 36: procedimento para aplicação de endurecedores cimentícios .....	65
Figura 37: concretagem dos corpos-de-prova .....	66
Figura 38: pesagem do material .....	66
Figura 39: regularização da superfície com desempenadeira de madeira .....	67
Figura 40: aplicação do material sobre a superfície dos corpos-de-prova .....	67
Figura 41: escurecimento da superfície evidenciando a absorção de umidade pelo material .....	68
Figura 42: desempenho mecânico utilizando alisadora com disco .....	69
Figura 43: alisadora mecânica com pá .....	69
Figura 44: cura dos corpos-de-prova .....	70
Figura 45: área limite para extração dos corpos-de-prova para ensaio à abrasão .....	70
Figura 46: locais de extração dos corpos-de-prova .....	71
Figura 47: corpos-de-prova extraídos e identificados .....	71
Figura 48: corpos-de-prova para ensaios pela ABNT NBR 12.042 .....	72
Figura 49: corpos-de-prova para ensaios à abrasão pela CIENTEC .....	72
Figura 50: desgaste por abrasão do endurecedor com diferentes relações água/aglomerante pela NBR 12.042 .....	74
Figura 51: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado metálico pela NBR 12.042 .....	76
Figura 52: desgaste por de abrasão do concreto com diferentes relações água/aglomerante pelo método da CIENTEC .....	78
Figura 53: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado mineral pelo método da CIENTEC .....	80
Figura 54: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado metálico pelo método da CIENTEC .....	81
Figura 55: correlação entre os índices de desgaste com a relação água/aglomerante para os dois métodos de ensaio .....	82
Figura 56: resultados de resistência ao desgaste por abrasão por grupos de corpo-de-prova entre os dois métodos de ensaio para diferentes relações água/aglomerante.....	84
Figura 57: desgaste comparativo do endurecedor cimentício com agregado mineral por método de ensaio .....	85

Figura 58: desgaste comparativo do endurecedor cimentício com agregado metálico por método de ensaio .....	87
Figura 59: desgaste por abrasão dos tratamentos e do valor de referência, pelo procedimento da CIENTEC .....	88
Figura 60: desgaste por abrasão dos tratamentos e do valor de referência, pelo método da ANBT NBR 12.042 .....	89
Figura 61: custo unitário de cada solução .....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: granulometria do endurecedor cimentício com agregado mineral .....	51
Tabela 2: granulometria do endurecedor cimentício com agregado metálico .....	53
Tabela 3: caracterização do agregado miúdo utilizado na produção do concreto.....	59
Tabela 4: caracterização da brita 0 utilizada na produção do concreto .....	59
Tabela 5: caracterização da brita 1 utilizada na produção o concreto .....	60
Tabela 6: parâmetros de dosagem utilizados .....	61
Tabela 7: resistência e abatimento do concreto .....	62
Tabela 8: matriz de ensaios utilizada para avaliar o efeito dos endurecedores cimentícios .....	63
Tabela 9: identificação dos corpos-de-prova enviados aos laboratórios para os ensaios de desgaste por abrasão .....	72
Tabela 10: resultados de abrasão dos concretos com diferentes relações água/aglomerante pela ABNT NBR 12.042 .....	74
Tabela 11: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado mineral pela ABNT NBR 12.042 .....	75
Tabela 12: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado metálico pela ABNT NBR 12.042 .....	76
Tabela 13: resultados de abrasão dos concretos com diferentes relações água/aglomerante pelo método da CIENTEC .....	77
Tabela 14: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado mineral pelo método da CIENTEC .....	78
Tabela 15: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado metálico pelo método da CIENTEC .....	80
Tabela 16: resultados médios de desgaste por abrasão .....	82
Tabela 17: resultados do desgaste por abrasão através dos dois métodos utilizados.....	83
Tabela 18: comparativo de desgaste entre as diferentes dosagens de endurecedor com agregado mineral .....	85
Tabela 19: comparativo de desgaste entre as diferentes dosagens de enduredor com agregado metálico .....	86
Tabela 20: comparativo de desgaste entre o concreto tratado e não tratado, pelo método da CIENTEC .....	88
Tabela 21: comparativo de desgaste entre o concreto tratado e não tratado, pela NBR 12.042 .....	88
Tabela 22: preço de venda do concreto .....	89
Tabela 23: preço de venda dos endurecedores cimentícios .....	90
Tabela 24: custo comparativo das soluções .....	90
Tabela 25: relação custo benefício de cada solução .....	91

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVOS .....	19
1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA .....	19
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	21
2.1 PISOS INDUSTRIAIS .....	21
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO SEGUNDO BINA (2002) .....	24
<b>2.2.1 Pisos de concreto simples</b> .....	24
<b>2.2.2 Pisos de concreto estruturalmente armados</b> .....	25
<b>2.2.2.1 Pisos de concreto com armadura simples</b> .....	25
<b>2.2.2.2 Pisos de concreto duplamente armados</b> .....	26
<b>2.2.3 Pisos de concreto reforçados com fibras de aço</b> .....	27
<b>2.2.4 Pisos de concreto protendido</b> .....	28
2.3 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O AMERICAN CONCRETO INSTITUTE .....	29
<b>2.3.1 Pisos de camada única</b> .....	32
<b>2.3.2 Pisos de camada dupla</b> .....	33
2.4 DESGASTE DO CONCRETO .....	34
<b>2.4.1. Abrasão em concreto</b> .....	34
<b>2.4.1.1. Influência da relação água/aglomerante</b> .....	35
<b>2.4.1.2. Influência do agregado graúdo</b> .....	37
<b>2.4.1.3. Influência da cura</b> .....	39
<b>2.4.2. Métodos de avaliação do desgaste por abrasão</b> .....	40
<b>2.4.2.1. Método da ABNT NBR 12.042</b> .....	40
<b>2.4.2.2. Método da CIENTEC</b> .....	40
<b>2.4.2.3. Método de LIU</b> .....	41
<b>2.4.2.4. Método de Abrasão Los Angeles ASTM C 131</b> .....	42
<b>2.4.2.5. Método da ASTM C 779</b> .....	43
2.5 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS EM PISOS INDUSTRIAIS .....	45
<b>2.5.1 Argamassa de alta resistência</b> .....	45
<b>2.5.2 Tratamentos superficiais cimentícios</b> .....	47
<b>2.5.3 Endurecedores cimentícios</b> .....	48
<b>2.5.3.1 Endurecedores cimentícios compostos com agregados minerais</b> .....	51

<b>2.5.3.2 Endurecedores cimentícios compostos com agregados metálicos .....</b>	<b>53</b>
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>55</b>
3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO .....	55
<b>3.1.1 Levantamento das restrições do concreto utilizado .....</b>	<b>56</b>
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO .....	57
<b>3.2.1 Cimento .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.2 Adição mineral .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.3 Agregado miúdo .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.4 Agregado graúdo .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.5 Aditivo .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.6 Água .....</b>	<b>60</b>
3.3 CONCRETO UTILIZADO NOS ENSAIOS .....	60
3.4 DETERMINAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	62
<b>3.4.1 Moldagem dos corpos-de-prova .....</b>	<b>63</b>
<b>3.4.2 Corpos-de-prova para os ensaios de abrasão .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.3 Ensaios de resistência à abrasão .....</b>	<b>73</b>
3.5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	73
<b>3.5.1 Método da ABNT NBR 12.042 .....</b>	<b>73</b>
3.5.1.1 Concreto sem tratamento superficial .....	73
3.5.1.2 Concreto tratamento com endurecedor composto de agregado mineral .....	75
3.5.1.3 Concreto tratamento com endurecedor composto de agregado metálico .....	75
<b>3.5.2 Método da CIENTEC .....</b>	<b>77</b>
3.5.2.1 Concreto sem tratamento superficial .....	77
3.5.2.2 Concreto tratamento com endurecedor composto de agregado mineral .....	78
3.5.2.3 Concreto tratamento com endurecedor composto de agregado metálico .....	80
3.6 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS .....	81
<b>3.6.1 Desgaste x Relação água/aglomerante .....</b>	<b>81</b>
<b>3.6.2 Comparativo de métodos .....</b>	<b>83</b>
<b>3.6.3 Comparativo de endurecedores cimentícios .....</b>	<b>87</b>
<b>3.6.4 Comparativo custo x desempenho .....</b>	<b>89</b>
3.6.4.1 Grupo de concreto sem tratamento .....	91
3.6.4.2 Grupo tratado com endurecedor cimentício com agregado mineral .....	92
3.6.4.3 Grupo tratado com endurecedor cimentício com agregado metálico .....	92
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>94</b>

4.1 CONCRETO SEM TRATAMENTO .....	95
4.2 ENDURECEDOR CIMENTÍCIO COM AGREGADO MINERAL .....	96
4.2 ENDURECEDOR CIMENTÍCIO COM AGREGADO METÁLICO .....	96
4.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	97
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>98</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O crescente avanço da economia tem demandado soluções cada vez mais inovadoras em pisos industriais. Com a implantação de projetos industriais de grande porte, como o complexo automotivo da General Motors do Brasil em Gravataí/RS, em 1998, novas tecnologias têm surgido no mercado da construção industrial. Porém, o avanço das necessidades dos clientes, na maioria das vezes, não é acompanhado do desenvolvimento do conhecimento dos profissionais que atuam no setor sobre as soluções disponíveis.

Os projetos de pisos industriais de concreto, no seu dimensionamento avaliam, na sua maioria, somente a sua resistência às cargas de utilização, não contemplando muitas vezes o desempenho da superfície do piso devido ao desgaste por abrasão. Com isso, em muitos casos, mesmo que o piso não apresente problemas estruturais, o excessivo desgaste superficial acaba por comprometer as atividades industriais.

Quando o piso precisa ser reparado ou refeito é, em geral, necessário interromper as operações, totalmente ou em partes. Já em 1953, Scrypture et al. (1953) alertavam para o fato de que, em muitos casos, o piso constitui a parte mais vital da construção industrial e, freqüentemente, a mais vulnerável. Por esta razão, a resistência ao uso do piso industrial de concreto é extremamente importante.

Os pisos de concreto apresentaram um maior desenvolvimento nos últimos 10 anos (BINA, 2002). No início da década de 90, os pisos de calçadas e em alguns galpões industriais eram realizados no sistema “damas”, ou seja, as placas de concreto eram de pequenas dimensões e eram concretadas alternadamente sem nenhum acompanhamento técnico, utilizando-se concreto simples ou parcialmente armado, conforme mostram as figuras 1 e 2.



Figura 1: piso de concreto simples: preparo da base para execução da concretagem

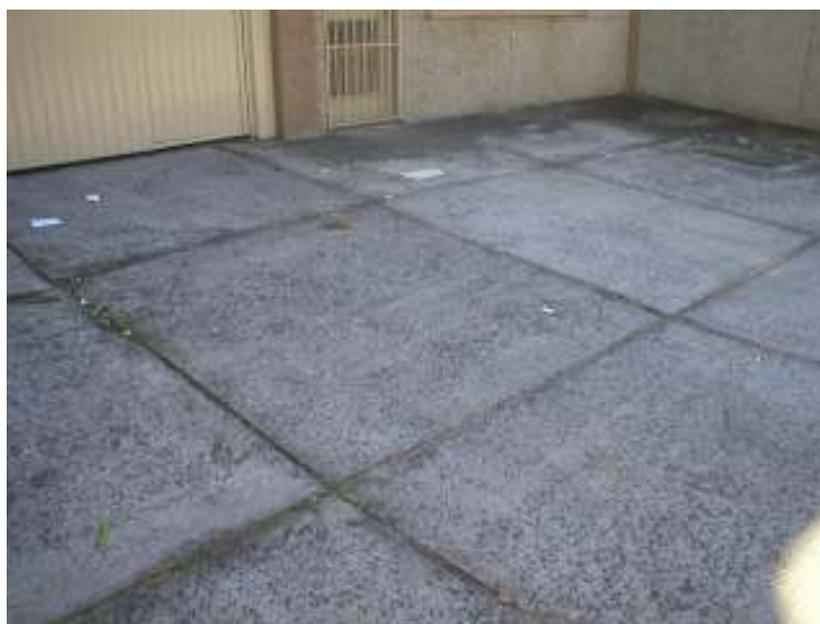
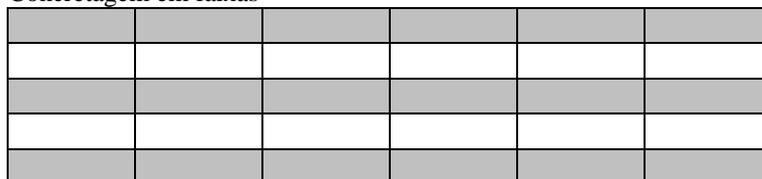


Figura 2: piso de concreto executado no sistema de damas

Neste mesmo período começava a divulgação e a execução do sistema construtivo denominado “estruturalmente armado”, cujo conceito consiste no emprego de armaduras para o combate à retração e à flexão. O sistema passou, então, de quadros de pequenas dimensões para faixas de largura definida e comprimento indeterminado, cujas juntas construtivas eram

determinadas pelas fôrmas laterais e o comprimento da placa determinado mediante o corte do concreto com disco diamantado (junta serrada), conforme figuras 3, 4 e 5.

Concretagem em faixas



Concretagem em damas

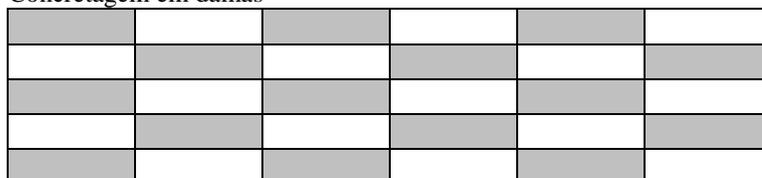


Figura 3: sistema construtivo em damas e estruturalmente armado



Figura 4: piso de concreto armado: detalhe das juntas



Figura 5: execução de piso de concreto estruturalmente armado

Segundo o ACI 302 (ACI, 1996), a qualidade de um piso industrial de concreto é essencialmente dependente da obtenção de uma superfície de elevada dureza e durabilidade, plana e relativamente livre de fissuras, que esteja em conformidade com um nível de referência, e que possua uma textura superficial adequada à futura utilização do piso. As propriedades da superfície são determinadas pela dosagem dos materiais, pela qualidade da concretagem e execução das juntas.

O início e a duração das operações de concretagem, especialmente o acabamento e a execução das juntas, são críticos. A falha num destes processos pode contribuir para o desenvolvimento de características indesejáveis na superfície como fissuras, baixa resistência à abrasão, pó, escamação, bolhas, assim como incrementar o potencial de empenamento da placa de concreto.

Essa variabilidade que existe nas etapas de operação do processo executivo, e que podem interferir no desempenho da superfície do piso de concreto, são de difícil determinação, pois dependem de uma série de fatores, como o tipo e consumo de cimento utilizado, temperatura e umidade ambiente, quantidade de água do traço, emprego de aditivos químicos, entre outros.

Considerando que o aspecto estrutural do dimensionamento de pisos não é tão problemático como o desempenho superficial, e como os agregados graúdos utilizados em concreto no estado do Rio Grande do Sul não apresentam baixas características à abrasão, a melhoria da

relação água/aglomerante é o principal fator a ser melhorado para aumento da resistência à abrasão dos pisos industriais de concreto. Porém, a redução da relação água/aglomerante implica no aumento da resistência do concreto, isto é, para uma melhoria da resistência à abrasão do concreto é necessário um aumento da resistência característica e, conseqüentemente, um aumento de custo para o projeto. Outra alternativa para a melhoria da resistência a abrasão em pisos industriais e comerciais pode ser atingida pelo tratamento superficial através do uso de endurecedores cimentícios. Este trabalho visa explorar a questão do tratamento superficial dos pisos de concreto utilizando endurecedores cimentícios para a melhoria da resistência ao desgaste por abrasão.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é verificar a influência de endurecedores cimentícios compostos com agregados minerais e metálicos, na resistência à abrasão de um piso industrial de concreto com acabamento mecânico.

Como objetivos secundários desta pesquisa, propõem-se:

- a) avaliar comparativamente o desempenho de concretos de diferentes relações água/aglomerante;
- b) avaliar a viabilidade econômica do uso de endurecedores cimentícios em comparação a pisos industriais de concreto com resistência mais elevada;
- c) estabelecer uma relação entre o custo da solução e a resistência à abrasão de cada solução;
- d) comparar os métodos de abrasão utilizados.

## 1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA

A hipótese consiste em avaliar se a especificação do tratamento superficial com endurecedores cimentícios em complementação ao dimensionamento dos pisos industriais de concreto traz um aumento da resistência à abrasão e um aumento da durabilidade em pisos industriais a um custo aceitável.

### 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As soluções foram avaliadas em pisos novos, com acabamento mecanizado.

O concreto utilizado foi o utilizado por uma empresa de serviços de concretagem dentro do estado do Rio Grande do Sul.

Os materiais utilizados como endurecedores cimentícios procedem de um único fabricante, iguais aos fornecidos no mercado e prontos para o uso.

A mão-de-obra utilizada para a elaboração das amostras foi a pertencente a uma empresa que atue no ramo de mão-de-obra para pisos industriais de concreto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os sistemas construtivos de pisos industriais publicados nas últimas edições do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), assim como os sistemas de piso sugeridos pelo American Concrete Institute (ACI), por se tratar de uma instituição reconhecida internacionalmente e que possui uma publicação específica sobre o assunto através do ACI 302.1- R-96 (1996). É abordada também a evolução do sistema de tratamento da superfície de concreto, assim como as principais características que interferem no desempenho à abrasão da mesma.

### 2.1 PISOS DE CONCRETO

O piso industrial de concreto é um elemento comum da construção industrial, podendo ser uma estrutura simples ou muito complexa, com as seguintes finalidades básicas:

- a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo carregamento;
- b) proporcionar perfeito rolamento, quanto ao conforto, limpeza e segurança das cargas móveis (paleteiras, empilhadeiras etc.), possuindo textura superficial adequada à futura utilização;
- c) resistir aos esforços mecânicos e a ataques químicos ou biológicos.

Existem poucas bibliografias disponíveis sobre pisos industriais de concreto. O próprio Instituto Brasileiro do Concreto inicia de forma mais intensa a publicação deste tema a partir de 1994, com o trabalho de Krempel et al. (1994), ainda abordando o uso de argamassa de alta resistência como revestimento. Neste processo, o piso de concreto não funciona como camada final de utilização, mas recebe uma camada que pode variar de 10mm a 15mm de uma argamassa de alta resistência que é responsável pela resistência à abrasão. É possível observar, a partir desse ano, o emprego de novas tecnologias na construção de pisos industriais de concreto.

Conforme apresentam Bina et al. (2002), os sistemas construtivos de pisos de concreto eram executados em placas de pequenas dimensões (1m x 1m até 2,5m x 2,5m) concretadas alternadamente utilizando-se concreto simples, ou parcialmente armado.

Com a necessidade de redução de juntas, por serem o elo mais fraco do piso, e aonde se manifestam as principais patologias segundo Rodrigues e Cassaro (1998), as placas de concreto passam a funcionar também como camada final de utilização, sem o emprego da camada de argamassa de alta resistência muito utilizada em situações de desgaste à abrasão, mas que implicava na aplicação de juntas plásticas a partir de 1m x 1m como apresentaram Krempel et al. (1994), e que ainda são utilizadas em algumas indústrias.

Para obterem esta redução de juntas, os projetos contemplam o emprego de armaduras (vergalhões ou telas eletrosoldadas) para o combate à retração e à flexão, passando o sistema a ser conhecido como estruturalmente armado. O reforço pode ocorrer também através do uso de fibras metálicas adicionadas ao concreto conforme apresentaram Júnior e Bina (1996), onde o concreto passa a apresentar ruptura dúctil e não mais frágil como ocorre com o concreto simples. O sistema construtivo de pisos industriais passou então de quadros de pequenas dimensões, para faixas de largura definida pelas formas laterais (junta construtiva) e o comprimento da placa é determinado mediante o corte do concreto com disco diamantado (junta serrada) conforme mostrado nas figuras 3 e 4. Os trabalhos de Piccoli et al. (1997), Bina et al. (1997) e Libório et al. (1997) registram estes sistemas construtivos empregados pelo mercado, assim como a utilização do concreto de alto desempenho, preparado com reduzida relação água/cimento.

Neste período, a superfície do concreto é acabada mecanicamente, através do uso de acabadoras mecânicas, proporcionando uma superfície densa e compactada, o que melhora a resistência do concreto à abrasão, e as placas de concreto podem ser de 100 m<sup>2</sup>, podendo chegar a 200 m<sup>2</sup> (BINA, 1997). Sendo que, Piccoli et al. (1997), já apresentavam a operação de salgamento da superfície de concreto. O salgamento consiste na aplicação de materiais de elevada dureza, rochosos ou metálicos, com granulometria adequada, na superfície do concreto já adensado, seguida da passagem da máquina acabadora para permitir sua penetração.

Esta evolução é motivada pela necessidade da indústria moderna que cada vez mais impõem condições rigorosas a serem atendidas, com destaque para a planicidade e o nivelamento (PICCOLI et al.,1997).

A especificação de tolerâncias superficiais é estabelecida pela ACI 117 (ACI, 1990) metodologia para determinação da planicidade e nivelamento da superfície de pisos é descrita pela ASTM 1155 (1996), e visa adequar o piso a sua utilização, que inclui operações sofisticadas como o uso de empilhadeiras computadorizadas, conforme figura 6.



Figura 6: empilhadeira computadorizada  
(CATÁLOGO DE FIBRAS BELGO BEKAERT)

Atualmente os sistemas construtivos de pisos de concreto se desenvolveram principalmente em plantas industriais, onde o desenvolvimento de projetos específicos para cada caso visa obter uma solução com um nível de racionalização construtiva, qualidade final e durabilidade compatível à projetada obtendo-se, conseqüentemente, segundo Estefani (2000), redução de desperdícios e diminuição de custos.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PISOS DE CONCRETO SEGUNDO BINA (2002)

Os pisos de concreto podem ser classificados segundo seu sistema de construção. Uma descrição destes sistemas é apresentada por Bina et al. (2002).

### 2.2.1 Pisos em concreto simples

Os pisos de concreto simples são dimensionados de tal forma que, somente o concreto absorve as tensões de tração do carregamento. Neste caso, não é necessário nenhuma armadura para retração ou flexão. O caso mais típico de aplicação deste tipo de solução é o emprego em rodovias e pavimentos urbanos, como ocorre na 3ª Perimetral de Porto Alegre, conforme figura 7.

Algumas vantagens e desvantagens deste tipo de solução:

Vantagens:

- a) durabilidade
- b) baixo custo de manutenção;
- c) rapidez de execução.

Desvantagens:

- a) elevado número de juntas;
- b) necessidade de barras de transferência de grande diâmetro.



Figura 7: execução de pavimento em concreto simples na 3ª Perimetral em Porto Alegre/RS

## 2.2.2 Pisos em concreto estruturalmente armado

São pisos construídos com uma armadura contínua, geralmente de telas eletrosoldadas, que podem ser utilizadas em dois casos distintos: armadura simples ou duplamente armado.

### 2.2.2.1 Pisos em concreto com armadura simples

A utilização de uma armadura simples, conforme figura 8, caracteriza o piso dimensionado para que a armadura absorva os esforços provenientes da retração do concreto, não tendo função de resistência aos esforços de tração na flexão, sendo este desempenho exclusivo do concreto. Normalmente, a armadura é posicionada a 3 cm da face superior do piso. Algumas vantagens e desvantagens desta solução são apresentadas a seguir:

Vantagens:

- a) maior espaçamento entre juntas que o concreto simples;
- b) facilidade de execução com uso de telas em painéis.

Desvantagens:

- a) necessidade de utilização de espaçadores para o posicionamento da armadura;
- b) dificuldade do posicionamento de telas fornecidas em rolos.



Figura 8: armadura simples para combate à retração do concreto

#### 2.2.2.2 Pisos em concreto duplamente armado

Os pisos duplamente armados são dimensionados para absorver os dois tipos de tensão: àquela produzida pelos carregamentos e a produzida pela retração do concreto.

Também conhecidos como “estruturalmente armados” vêm se tornando muito competitivos em termos de preço e de obtenção de seus insumos. Consiste em uma alternativa sempre estudada, principalmente quando há espessuras elevadas (RODRIGUES; CASSARO, 1998). Deve-se considerar uma certa dificuldade operacional, pois as telas eletrosoldadas devem estar posicionadas e adequadamente niveladas antes do início das concretagens, conforme mostra figura 9. Algumas vantagens e desvantagens desta solução são indicadas a seguir:

Vantagens:

- a) redução da espessura, em função da armadura utilizada;
- b) admite cargas mais elevadas.

Desvantagem: maior custo de mão-de-obra para posicionamento da armadura.



Figura 9: piso de concreto estruturalmente armado

### 2.2.3 Pisos em concreto reforçado com fibras de aço

Como os pisos de concreto são apoiados em uma base elástica, geralmente solos compactados ou camadas de reforço de base como brita graduada ou solo cimento, e as tensões de carregamento são tensões, de certa forma, pequenas comparadas a uma laje suspensa. Neste caso pode-se substituir as armaduras convencionais pelas fibras de aço. As fibras de aço no concreto, conforme figura 10, possibilitam o incremento da tenacidade do concreto, permitindo-lhe maiores deformações antes da ruptura. O sistema construtivo segue os mesmos

parâmetros do estruturalmente armado com juntas construtivas e juntas serradas. Com as fibras surge também o conceito de pisos sem juntas (“jointless floor”). Este conceito possibilita a execução de placas de até 2.500 m<sup>2</sup> numa única operação, (BINA, 2002).



Figura 10: concreto reforçado com fibras metálicas

#### 2.2.4 Pisos em concreto protendido

Nos pisos de concreto protendido a armadura é constituída por cordoalhas engraxadas e plastificadas com uma resistência à tração dez vezes superior ao vergalhão e instaladas nas duas direções conforme figura 11 e são tensionadas e travadas contra o concreto, transferindo para este um carregamento permanente axial. Neste caso, não existem juntas serradas e as juntas construtivas permanecem unidas pela ação das cordoalhas, tendo-se a impressão que existe somente uma placa de concreto.

Em um piso ou pavimento de concreto protendido pode-se trabalhar com juntas construtivas distantes de 100 a 150 metros com viabilidade econômica (BINA, 2002).



Figura 11: piso de concreto protendido

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)

O Comitê 302 do ACI, em seu manual ACI 302.1R-96 (ACI,1996), apresenta uma classificação dos diversos tipos de pisos de concreto com base na utilização, no tipo de tráfego, no aspecto estético desejado e no tipo de tratamento e acabamento da camada superficial que os mesmos devem apresentar. Estes estão divididos em nove classes e consideram dois processos executivos, camada simples ou dupla, conforme a figura 12.

<b>Classe</b>	<b>Tipo de tráfego</b>	<b>Uso</b>	<b>Considerações</b>	<b>Acabamento</b>
1 Camada simples	Tráfego de pedestres – superfície exposta	Oficinas, igrejas, comercial, institucional e múltiplas residências.  Decorativo	Acabamento uniforme, agregados antiderrapante em áreas específicas, cura. Agregado mineral colorido, pigmento colorido ou agregado exposto, estampado ou decorativo, layout de juntas artísticas, cura.	Normal com pá metálica, antiderrapante aonde necessário.  Conforme necessário
2 Camada simples	Tráfego de pedestres - superfície revestida	Oficinas, igrejas, comercial, ginásios, múltiplas residências, institucional com revestimento de piso.	Placa plana e nivelada compatível com a aplicação do revestimento, cura. Disposição de juntas de acordo com o revestimento aplicado.	Leve acabamento com pá metálica.
3 Camada dupla	Tráfego de pedestres - superfície exposta ou revestida	Capara aderida ou não aderida sobre placa base para construção comercial ou não industrial, onde o tipo de construção ou cronograma exigir.	Placa base - boa, uniforme, plana, cura  Capa não aderida - isolamento sobre placa base, espessura mínima 75 mm reforçada, cura.  Capa aderida - tamanho do agregado adequado, espessura mínima 19 mm, cura.	Placa base - acabamento sobre face não aderida: limpeza, superfície texturada sobre face aderida.  Capa - para superfície exposta, acabamento normal com pá metálica. Para superfície revestida, leve acabamento com pá metálica.
4 Camada simples	Tráfego de pedestres ou veículos leves - superfície exposta ou revestida	Institucional ou comercial	Placa plana e nivelada compatível com a aplicação do revestimento, agregados antiderrapantes em áreas específicas, cura. Disposição de juntas de acordo com o revestimento aplicado.	Normal com pá metálica.

continua

continuação

<b>Classe</b>	<b>Tipo de tráfego</b>	<b>Uso</b>	<b>Considerações</b>	<b>Acabamento</b>
5 Camada simples	Superfície exposta - tráfego de veículos industriais, quais são, roda pneumáticos, e moderadamente leve roda rígida.	Piso Industrial para produção, processamento e armazenagem.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, resistência à abrasão, cura.	Intenso acabamento com pá metálica.
6 Camada simples	Superfície exposta – uso pesado, tráfego de veículos industriais, quais são, roda rígida e intenso carregamento sobre rodas.	Piso Industrial sujeito a tráfego pesado; pode estar sujeito a impacto.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, transferência de carga, resistência à abrasão, cura.	Endurecedor superficial à base de agregados minerais ou metálicos; acabamento intenso com pá metálica.
7 Camada dupla	Superfície exposta – uso pesado, tráfego de veículos industriais, quais são, roda rígida e intenso carregamento sobre rodas.	Camada dupla de piso aderido sujeito a tráfego pesado e impacto.	Placa base - boa, sub-base uniforme, reforço, paginação de juntas superfície nivelada, cura.  Capa aderida - composto mineral ou metálico com granulometria contínua. Espessura mínima 19 mm. Endurecedor de superfície à base de agregado mineral ou metálico aplicado para superfície plana de alta resistência, cura.	Limpeza, leve textura da superfície da placa base para subsequente aderência da capa. Desempeno especial da superfície da base é opcional. Acabamento com pá metálica.

continua

continuação

Classe	Tipo de tráfego	Uso	Considerações	Acabamento
8 Camada Dupla	Idem a classe 4, 5 ou 6	Capa não aderida - para pisos novos ou velhos ou onde sistemas construtivos ou prazos exigirem.	Isolamento sobre a placa base, espessura mínima de 100 mm, resistência à abrasão, cura.	Idem a classe 4, 5 ou 6
9 Camada simples ou capa	Superfície exposta - superplano ou requisitos de tolerância da superfície crítico. Veículos transportadores de materiais especiais ou tolerâncias específica de requisitos robô.	Corredores estreitos, armazém; estúdios de televisão, ringues de gelo.	Especificações da qualidade do concreto variadas. Endurecedores não podem ser usados sem aplicações especiais e grandes cuidados de instalação aplicados. F <sub>F</sub> 50 e F <sub>L</sub> 25 (pisos superplanos). Cura.	Seguir rigidamente as técnicas de acabamento indicadas na seção 8.9

Figura 12: classificação de pisos de concreto segundo o ACI 302 (1996)

### 2.3.1 Pisos de camada única

Cinco classes de piso são construídas no processo de camada única, ou seja, a placa de base também tem responsabilidade no desempenho superficial. As classes 1, 2, 4, 5 e 6 apresentam como diferencial alguma variação em resistência à compressão e técnicas de acabamento. Se a abrasão por areia ou outro material abrasivo for intensa, uma superfície de resistência compatível com intensidade das solicitações deve ser prevista para atender a necessidade de serviço. Nestas condições, uma classe de piso elevada, e conseqüentemente de maior resistência à compressão ou um tratamento superficial com agregados minerais ou metálicos é recomendado.

### 2.3.2 Pisos de camada dupla

Já os pisos de camada dupla, classe 3, 7 e 8, podem ter a camada superior aderida ou não aderida à camada base. A camada-base de piso classe 3 (não aderido) e piso classe 8 podem ser tanto pisos sobre solos como lajes suspensas, aonde o acabamento será conforme a camada superior. Para os pisos classe 3, o concreto da camada superior é similar ao concreto da base. A camada superior dos pisos classe 8 requerem um acabamento mecânico intenso, e geralmente com uma resistência à compressão maior que a base. Os pisos classe 8 podem também incorporar na superfície agregados minerais ou metálicos pré-misturados.

Os pisos classes 3 e 8 são usados quando não é preferível aderir a capa à camada base, então as duas camadas podem mover-se de forma independente (como exemplo, base de elementos pré-moldados), ou para remover de forma fácil e refazer a camada superficial num período posterior. Os pisos de duas camadas também podem ser usados como recuperação de pisos desgastados ou danificados.

Os pisos classe 3 (aderido) e classe 7 são empregados como camada final sobre camada base. Os pisos classe 3 (aderido) são usados para aplicações comerciais ou não industriais, enquanto os pisos classe 7 são destinados a aplicações industriais pesadas sujeitas a tráfego intenso e impacto, como o revestimento de argamassa com agregado metálico mostrado na figura 13.

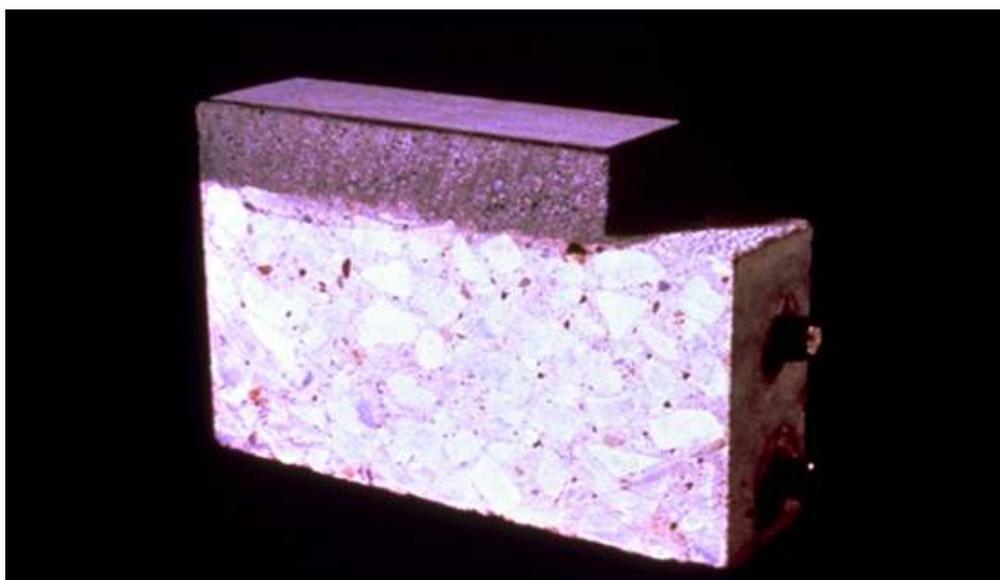


Figura 13: piso de concreto com capa aderida à base

Alguns pisos requerem níveis extraordinários de planicidade e nivelamento. Também chamados de pisos superplanos, os pisos classe 9 podem ser construídos em camada única ou como camada final dos pisos de duas camadas.

O ACI 302 (1996) ainda faz uma recomendação de resistência à compressão do concreto aos 28 dias para cada classe de piso, assim como um abatimento máximo, conforme figura 14.

Classe de piso	Resistência característica aos 28 dd (MPa)	Abatimento máximo (mm)
1,2 e 3	21	125
4 e 5	28	125
6	31	125
7 base	24	125
7 capa aderida <sup>*1</sup>	35-55	75
8 capa não-aderida <sup>*2</sup>	28-55	75
9 superplano <sup>*1</sup>	28 ou mais	125

Figura 14: especificação de resistência à compressão e abatimento para concreto segundo o ACI 302 (1996)

## 2.4 DESGASTE DO CONCRETO

O desgaste consiste na perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido a uma ação proveniente do contato e movimento relativo contra um agente sólido, líquido ou gasoso. As ações de desgaste do concreto podem ser classificadas como abrasão, erosão e cavitação. O desgaste por abrasão se refere ao atrito seco, como no caso do desgaste de pavimentos e pisos industriais pelo tráfego de veículos. Já o desgaste por erosão é causado por ação abrasiva de fluídos ou sólidos em movimento. A cavitação corresponde ao fluxo não linear de água (METHA; MONTEIRO, 1994).

### 2.4.1 ABRASÃO EM CONCRETO

O desgaste por abrasão de uma superfície de concreto, segundo Almeida (2000), é provocada, em geral pelo tráfego de pessoas e de veículos, bem como o impacto ou atrito causado pelo arrastamento de partículas ou objetos soltos.

A resistência à abrasão é de grande importância quando o tráfego consiste na utilização de equipamentos com rodas rígidas, particularmente as metálicas, pois estas, devido ao material que são compostas, não sofrem qualquer tipo de deformação com o aumento da carga transportada, causando um aumento da tensão entre a roda e a superfície do piso, durante o transporte de cargas em centros de armazenagens ou fábricas, sendo necessário um alto grau de resistência à abrasão para estes concretos (ORCHARD, 1962; WOODS, 1968).

Aparentemente a abrasão envolve tensões localizadas de alta intensidade, de modo que a resistência e a dureza do concreto na região superficial têm grande influência sobre a resistência à abrasão (NEVILLE, 2000).

#### 2.4.1.1 Influência da relação água/aglomerante

Smith apud WOODS (1968) encontrou boas correlações entre resistência à compressão e a resistência à abrasão através de dois métodos diferentes. Para resistências entre 14 MPa e 70 MPa, avaliando-se a perda de massa, quando aumenta em 4 vezes a resistência à compressão, diminui em oito vezes a perda de massa pelo método das rodas. O autor apresenta correlações lineares entre resistência à compressão e abrasão ilustradas na figura 15.

Para a obtenção de uma superfície de concreto resistente à abrasão, o Comitê 201 do ACI, apud Metha e Monteiro (1994), recomenda uma resistência característica à compressão aos 28 dias não menor que 28 MPa.

Quando existem condições severas de erosão ou abrasão, recomenda-se que além do uso de agregados de alta dureza, o concreto deve ser dosado para desenvolver resistência à compressão aos 28 dias de no mínimo 41 MPa e curado adequadamente antes da exposição ao ambiente agressivo, (METHA; MONTEIRO, 1994).

Metha e Monteiro (1994) também citam que resistências adequadas podem ser obtidas por uma baixa relação água/aglomerante e ou uma granulometria apropriada dos agregados miúdos e graúdos. Em relação a pavimentos ou pisos industriais, atenção especial deve ser dada para assegurar que, ao menos, o concreto na superfície seja de alta qualidade. Para reduzir a formação de uma camada superficial fraca, recomenda-se postergar o desempenamento até que o concreto tenha perdido a água de exsudação superficial. Para

carga pesada, os pisos ou pavimentos devem ser projetados para ter uma camada superficial de 25 a 75 mm (METHA; MONTEIRO, 1994), consistindo de um concreto de baixa relação água/cimento, contendo agregado mais resistente.

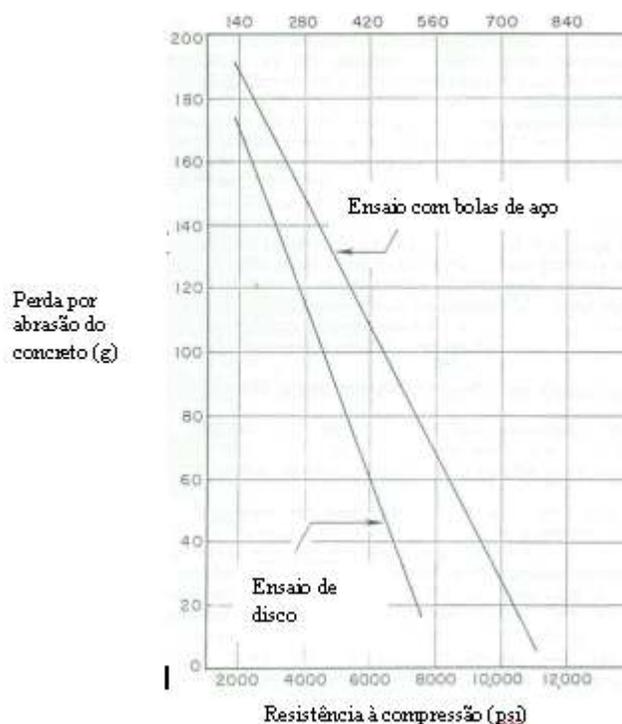


Figura 15: Resultados da correlação entre a resistência à compressão e à abrasão (WOODS, 1968)

Um outro aspecto é apresentado por Gonçalves et al. (1994), que admite para concretos convencionais ( $f_c \leq 40$  MPa e relação água/aglomerante=0,4), a diferença de rigidez entre a argamassa e o agregado graúdo provoca a concentração de tensões e o aparecimento e a propagação de fissuras na ligação argamassa-agregado graúdo e na argamassa, sendo estas limitadores principais das propriedades dos concretos. Em vista disto, para estes concretos, as propriedades mecânicas, elásticas e petrográficas dos agregados graúdos são motivo de particular atenção. Já nos concretos com maiores resistências, entretanto, os resultados têm mostrado a grande importância das propriedades dos agregados graúdos no seu comportamento. Para concretos com valores de resistência mais elevados, os agregados graúdos podem ser o fator limitador de suas resistências.

Este resultado também foi constatado no estudo realizado por Gjørsv et al. (1997 apud AITCIN, 2000), que ensaiaram concretos com resistência à compressão acima de 150 MPa, e com

diferentes tipos de agregados graúdos. Descobriu-se que a qualidade do agregado desempenha papel crítico, especialmente em concretos com maior resistência à compressão.

Almeida et al. (1999) em um estudo sobre concreto com cinza volante para pavimentação, concluíram que a substituição de parte do cimento por aditivos minerais sempre aumentou o desgaste por abrasão, em proporções situadas entre 10 e 25 %. Quando um aditivo superplastificante era utilizado nas misturas, como redutor de água, diminuía o desgaste dos concretos em cerca de 25%. O desgaste por abrasão variou diretamente com a relação água/aglomerante, com o volume de pasta e com a porosidade dos concretos. A correlação geral calculada entre o desgaste e a resistência à compressão dos concretos foi baixa, o que foi interpretado como uma importante influência do tipo de material cimentício. De qualquer modo, mesmo os piores resultados de desgaste medidos nos CAD foram cerca de seis vezes menores do que os medidos em concretos correntes, com resistência à compressão de 20 MPa. O desgaste à abrasão do concreto variou inversamente com a resistência à compressão e com a idade do concreto, e variou diretamente com o teor de substituição de cimento por cinzas volantes, a absorção capilar, a permeabilidade ao oxigênio e a porosidade aberta. O estudo ainda mostrou que o desgaste por abrasão foi mais influenciado pelo percentual de substituição de cimento por cinza volantes do que pela duração da cura úmida.

Segundo Gjorv et al. (1997 apud AITCIN, 2000) ensaiaram concretos com resistência à compressão acima de 150 MPa, aonde se observou que aumentando a resistência à compressão de 50 para 100 MPa, a abrasão do concreto foi reduzida, de forma geral, em 50 %. A resistência à abrasão diminuiu sob condições de umidade, quando comparada com condições secas, mas quanto maior for a resistência à compressão menor a diferença;

Segundo Neville (2000) a resistência à compressão do concreto é o principal fator que controla a resistência à abrasão. A resistência mínima necessária depende da severidade da abrasão esperada.

#### 2.4.1.2 Influência do agregado graúdo

A dureza do agregado, principalmente do agregado graúdo, é citada por Woods (1968) como importante para a resistência à abrasão. Entretanto, para concretos com resistência acima de

56 MPa, o efeito da dureza do agregado é mínima, pois para estas resistências ocorre uma redução da relação água/aglomerante e conseqüentemente, uma melhora na qualidade da argamassa que passa a contribuir para a resistência à abrasão do concreto. No entanto para resistências de 21 MPa a 35 MPa, a resistência à compressão do agregado graúdo é significativa nos resultados, pois nestes casos, a relação água/aglomerante é o ponto mais fraco da matriz de concreto, sendo desgastada mais rapidamente. No caso da utilização de agregados de baixa qualidade, todo o concreto pode ser rapidamente desgastado.

Num ensaio realizado por Gonçalves et al. (1996), utilizando-se cinco tipos de agregados, o agregado obtido da rocha de mais elevada resistência à compressão gerou o concreto mais resistente. Em contrapartida, em dois dos quatro concretos produzidos com agregados de qualidade inferior, observou-se que, aos 90 dias de idade, a resistência relativamente baixa do agregado – evidenciada pelo maior percentual de fraturas transgranulares constatado nas superfícies de ruptura dos corpos de prova – foi claramente limitadora da resistência dos concretos.

Segundo Aitcin (2000), a qualidade do agregado graúdo é o mais importante dos fatores que afetam a resistência do concreto à abrasão sob procedimento da norma ASTM 779, com relação água/aglomerante em segundo lugar.

Almeida (2000) refere-se ao agregado graúdo como o componente do concreto que protege a argamassa, geralmente menos resistente ao desgaste. Porém em concretos com resistência à compressão superior a 42 MPa, parece que a influência dos agregados na resistência à abrasão é pequena.

A resistência dos concretos ao desgaste por abrasão é regida por vários fatores, segundo Almeida (2000), tais como a dosagem e natureza do aglomerante, a relação água/cimento, as características do agregado graúdo (natureza petrográfica, resistência à abrasão e à compressão, dimensão máxima, granulometria e proporção destes agregados no concreto) e ainda pela aderência entre os agregados e a pasta de cimento. Interferem também na questão, as características do concreto quando no estado fresco (segregação, exsudação, trabalhabilidade e teor de ar incorporado), a compactação, a cura e o acabamento e tratamento superficial.

Alguns pesquisadores argumentam que a resistência ao desgaste dos concretos está relacionada com a resistência à compressão, mas há também quem discorde, considerando que a resistência ao desgaste por abrasão dos concretos é uma característica da sua camada superficial, o que não é o caso da resistência à compressão. Um indicativo disso seria o fato de que tanto o acabamento superficial quanto o regime de cura afetam muito mais a resistência à abrasão da camada superficial do que a resistência à compressão dos concretos (ALMEIDA, 2000).

### 2.4.1.3 Influência da cura

O comitê 201 do ACI (1991 apud METHA; MONTEIRO, 1994) recomenda pelo menos 7 dias de cura úmida contínua depois do lançamento do concreto. Este tempo de cura também é sugerido no estudo realizado por Bauer et al. (1999), utilizando-se dois tipos de cimento e duas relações água/cimento, para que as propriedades do concreto sejam satisfatórias.

Segundo o ACI 302 (ACI 1996), a cura é, depois do lançamento e acabamento do concreto, o fator mais importante para atingir alta qualidade do piso de concreto. Ainda segundo o ACI 302, o propósito primário da cura é tornar lenta a perda de umidade do piso de concreto.

Battagin (2002) reproduz a seguinte figura de recomendação de período de cura para concretos, dependendo do tipo de cimento e da relação água/aglomerante, conforme figura 16.

Tipo de Cimento	Relação água/cimento			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e II - 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV - 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III - 32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP I e II - 40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V - ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Figura 16: período de cura de concreto em função do tipo de cimento e da relação água/aglomerante (BATTAGIN et al., 2002)

## 2.4.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESGASTE POR ABRASÃO

Existem vários tipos de ensaios desenvolvidos para se tentar avaliar o efeito da abrasão em concretos. Entretanto os resultados obtidos não devem ser tomados como indicadores de durabilidade. O que pode ser avaliado são os resultados comparativos de materiais diferentes através de um mesmo método, uma vez que ainda seria muito complexo prever a durabilidade de superfícies sujeitas ao desgaste devido às incertezas dos materiais, processos e ações de desgaste que as mesmas estariam sujeitas por um determinado período. Esta previsão de durabilidade somente seria possível com grande margem de erro.

A seguir são listados alguns ensaios adotados por laboratórios, como o da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - CIENTEC, de normas nacionais e estrangeiras e também um método desenvolvido para avaliar o desgaste em barragens.

### 2.4.2.1 Método ABNT NBR 12.042

O método da NBR 12042 (ABNT, 1992), consiste em simular um percurso de 1000 metros, com leituras do desgaste em mm em 500m e 1000m, aonde são ensaiados dois corpos-de-prova de 70 mm x 70 mm simultaneamente e sendo que cada um gira em torno do próprio eixo e também seguem uma trajetória circular de simulação do desgaste. O material abrasivo utilizado é areia. O resultado é dado pela diferença entre as médias das leituras efetuadas em quatro pontos antes e após o do ensaio, em 500m e em 1000m.

### 2.4.2.2 Método CIENTEC

O método CIENTEC de desgaste por abrasão, consiste em simular um percurso de 500m percorridos pelo corpo-de-prova de 50 mm x 50 mm submetido a uma pressão constante de 0,06 MPa sobre carbetto de silício. O resultado é dado pelo desgaste em mm, que corresponde à média das diferenças entre as leituras efetuadas em cinco pontos do corpo-de-prova antes e ao final do ensaio. Na figura 17 é apresentada a máquina utilizada neste ensaio.



Figura 17: máquina de ensaio à abrasão do CIENTEC

#### 2.4.2.3 Método Liu

O aparato desenvolvido por Liu (1978), figura 18, para estudos de abrasão em barragens, consiste em uma furadeira acoplada a uma haste, dentro de um cilindro metálico que aloja o corpo-de-prova de concreto a ser estudado, e 70 bolas de aço de diferentes diâmetros, 10 de diâmetro de 25 mm, 35 de diâmetro de 19 mm, e 25 de diâmetro de 13 mm. A haste inserida na água promove um giro de aproximadamente 1200 rotações por minuto. Os corpos-de-prova são testados por um período de 72 horas, e as medições são feitas através da perda de massa.

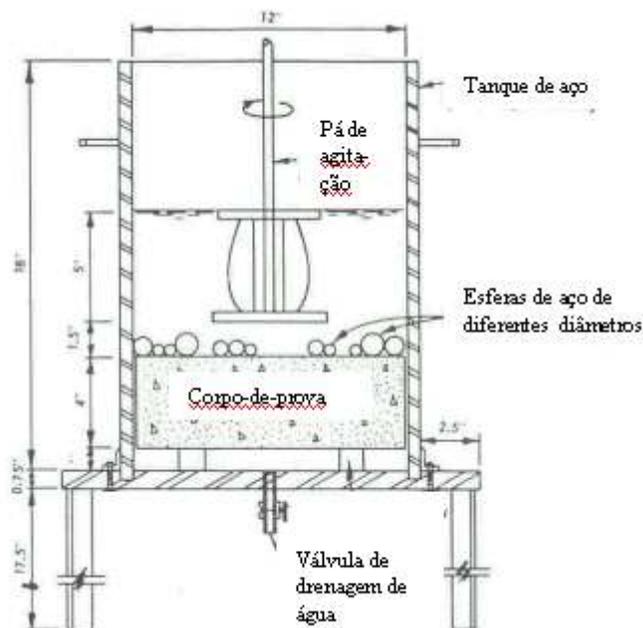


Figura 18: equipamento utilizado por Liu para avaliação da abrasão

#### 2.4.2.4 Método de Abrasão Los Angeles - ASTM C 131

O ensaio de abrasão Los Angeles, descrito pela ASTM C 131 (1996), sendo utilizado para ensaios de resistência à abrasão e ao impacto de agregados graúdos com diâmetro máximo de 37,5 mm, figura 19. O equipamento consiste num tambor cilíndrico com as extremidades fechadas de diâmetro interno de 711 mm e comprimento de 508 mm, montado horizontalmente, conforme figura 2.14 e aonde são introduzidas 37 esferas de aço de diâmetro e massas diferentes. O método avalia a diferença de massa antes e depois do ensaio que consiste em promover 500 revoluções a uma velocidade de 30 a 33 rotações por minuto.



Figura 19: equipamento de abrasão Los Angeles (ASTM C 131, 1996)

#### 2.4.2.5 Método ASTM C 779

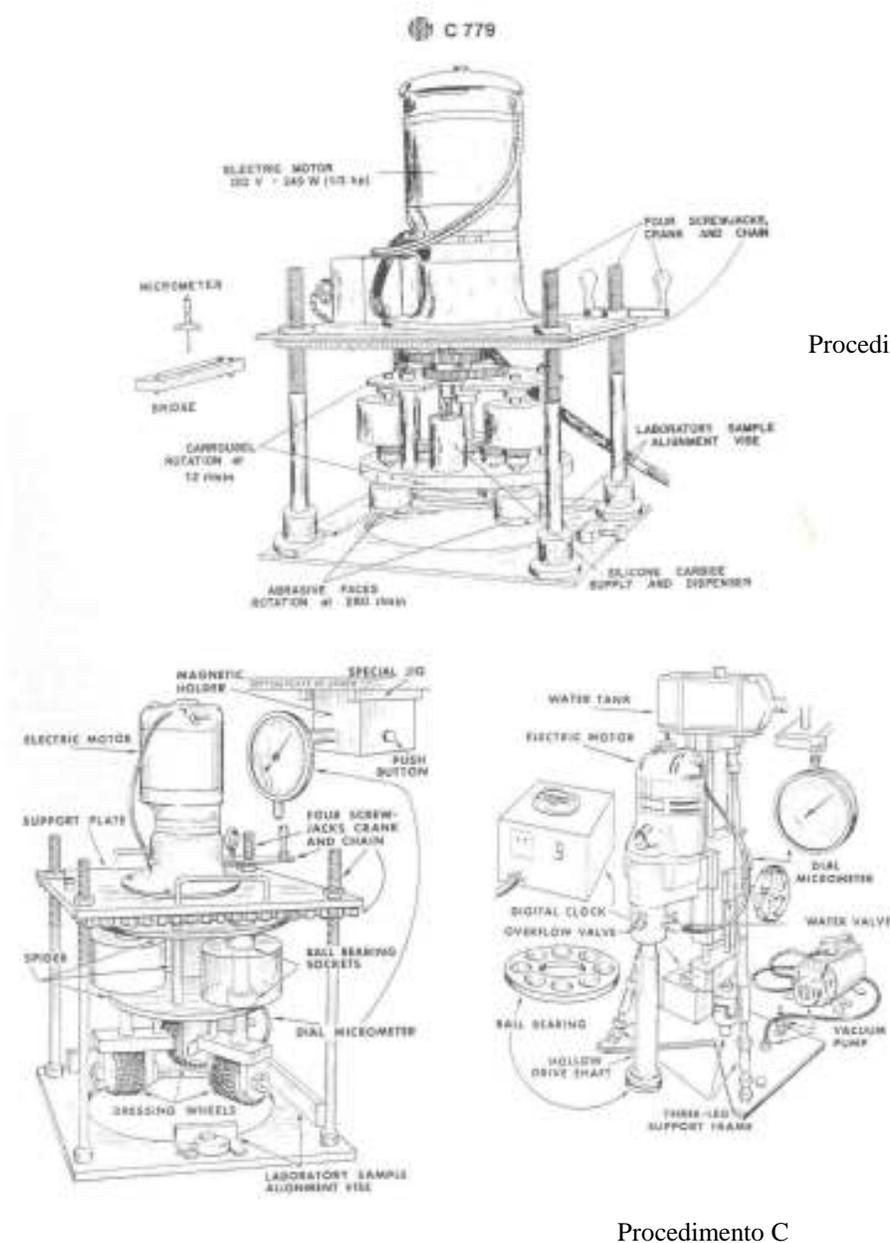
A ASTM C 779 (ASTM, 1991) descreve três procedimentos de ensaio para avaliar a resistência do concreto à abrasão. Cita ainda que os métodos são destinados a avaliar os efeitos de resistência à abrasão do concreto, materiais e técnicas de acabamento e cura, e também para avaliação de produtos e o comportamento de superfícies sujeitas ao uso. A norma salienta que não é intenção estabelecer uma previsão de durabilidade.

O procedimento A, utiliza discos giratórios em conjunto com carbetos de silício como material abrasivo. Os discos giram a uma velocidade de 12 rotações por minuto e no próprio eixo a uma velocidade de 280 rotações por minuto sobre a superfície do concreto a ser testado. As medições são realizadas em períodos de 30 minutos e 60 minutos, sendo a avaliação feita através da profundidade desgastada depois de cada período.

O procedimento B utiliza três conjuntos de sete rodas desbastadoras de aço que se movimentam numa velocidade de 56 rotações por minuto. Não é utilizado nenhum material abrasivo auxiliar neste ensaio, e o procedimento de leitura do desgaste é idêntico ao do procedimento A.

O procedimento C utiliza um conjunto de oito bolas de aço de 18mm de diâmetro, acopladas a uma cabeça rotativa e o material desgastado é retirado por água corrente. A velocidade do conjunto deve ser de 1000 rotações por minuto sobre carga de 120 N. As medições são feitas a cada 50 segundos até se atingir um tempo máximo de 1200s, ou quando a profundidade de desgaste atingir 3mm.

Os equipamentos descritos pela ASTM C 779 podem ser vistos na figura 20.



Procedimento A

Procedimento C

Procedimento B

Figura 20: equipamentos descritos pela ASTM C 779 (1991)

## 2.5 TRATAMENTO SUPERFICIAL EM PISOS DE CONCRETO

Junto ao desenvolvimento dos sistemas construtivos de pisos industriais de concreto, deu-se o aprimoramento do tratamento superficial, passando da utilização de uma argamassa de alta resistência, ao uso de endurecedores químicos e ao uso de endurecedores cimentícios.

Serão apresentados os tratamentos superficiais utilizados em pisos industriais que ainda são encontrados.

### 2.5.1 Argamassa de alta resistência

A argamassa de alta resistência mecânica para pisos consiste na mistura de cimento, agregados de alta resistência, água e, eventualmente, aditivos, que devem atender as especificações da NBR 11801 (ABNT, 1992), descritas na figura 21.

Tipo de solicitação	Desgaste (D) Percurso de 1000m	Resistência à compressão simples	Resistência à tração por compressão diametral
Grupo A	$\leq 0,8$ mm	$> 40,0$ MPa	$> 4,0$ Mpa
Grupo B	$0,8\text{mm} < D \leq 1,6$ mm		
Grupo C	$1,6\text{mm} < D \leq 2,4$ mm		

Figura 21: exigências da NBR 11801 (ABNT, 1992) para argamassa de alta resistência.

A classificação das argamassas é sugerida pela norma de acordo com a solicitação a que serão submetidas:

- a) **grupo A** – Solicitação predominante por abrasão, causada pelo arraste e rolamento de cargas pesadas, tráfego de veículos de rodas rígidas e impactos de grande intensidade;
- b) **grupo B** – Solicitação predominante por abrasão, causada pelo arraste e rolamento de cargas médias, tráfego de veículos de rodas rígidas, tráfego intenso de pedestres e impacto de pequena intensidade;
- c) **grupo C** – Solicitação predominante por abrasão, causada pelo arraste e rolar de pequenas cargas leves, tráfego de veículos de rodas macias e pequeno trânsito de pedestres.

O procedimento de aplicação desta argamassa é um fator importante para o desempenho de todo sistema. A seguir, apresenta-se um resumo do procedimento de aplicação padrão para piso industrial de alta resistência conforme especificação de serviço ES-003.046-00 SEXEC/INFOHAB (2000).

- a) sobre o contrapiso ainda não endurecido, esta argamassa deve ser lentamente espalhada, vibrada e compactada com o auxílio de régua vibratória;
- b) posteriormente dá-se o acabamento com desempenadeira metálica;
- c) seis a oito horas após a aplicação da camada de alta resistência deve-se cobri-la com uns colchões de areia úmida com espessura de 2 a 3 cm que permanecem durante quatro dias, sendo constantemente umedecido;
- d) o polimento é um tipo de acabamento onde o piso passa por três fases de desgaste feito por máquinas politrizes, após a remoção do colchão de areia;
- e) na primeira fase, o desgaste é feito com pedra esmeril grana 36, aonde se obtém a retirada da nata superficial, o corte e a homogeneização do agregado específico;
- f) na segunda fase, feito com esmeril grana 60 são retirados eventuais riscos provocados pela pedra passada anteriormente;
- g) o piso deve ser imediatamente estucado com uma pasta de cimento, aplicada com espátulas, aí devendo permanecer durante pelo menos 72 horas;
- h) na última fase, o polimento é feito com pedra esmeril grana 120, retirando o estuque e conferindo ao piso o aspecto final.

O procedimento de execução pode variar conforme o material ou a condição de aplicação segundo descrevem Krempel et al. (1994), relatando os sistemas de aplicação utilizados por Furnas, e nas usinas de Itaipu e Segredo.

Estas argamassas eram aplicadas sobre piso de concreto no sistema úmido sobre úmido, para concretos com poucas horas de lançamento, ou no sistema úmido sobre seco, com o auxílio de algum adesivo para concretos já curados, e utilizando-se juntas plásticas formando placas quadradas com 1 m<sup>2</sup>.

O procedimento de polimento abrasivo auxilia a criar uma superfície com bom desempenho à abrasão, pois desgasta todo o material frágil da superfície. O ensaio descrito pela NBR 12042 (ABNT, 1992) prevê o preparo dos corpos de prova através de desgaste preliminar equivalente ao percurso de 200 metros (100 voltas da pista de desgaste). Este procedimento

favorece o resultado final do ensaio, pois o material a ser desgastado no ensaio será o um material de maior dureza.

### 2.5.2 Tratamentos superficiais líquidos

Para Piccoli et al. (1997) a aplicação de endurecedor superficial líquido, onde a reação entre o produto e os compostos hidratados do cimento gera compostos de maior dureza, confere maiores resistências ao desgaste e impermeabilidade ao concreto, causando vitrificação do piso em profundidade que pode atingir mais de 4 mm. Os endurecedores são eficazes na redução da formação de poeira no piso, proveniente do próprio concreto.

As formulações de endurecedores químicos podem mudar de fabricante para fabricante, mas basicamente consistem em componentes inorgânicos que reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, ou a cal livre do concreto.

Segundo Metha e Monteiro (1994), pode-se utilizar soluções endurecedoras de superfícies para pisos novos bem curados ou pisos velhos desgastados a base de fluorsilicato de zinco ou magnésio ou silicato de sódio, que reagem com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland para formar produtos insolúveis, selando os poros capilares próximos ou na superfície e com isto aumentando a resistência à abrasão.

No concreto de alto desempenho, segundo Piccoli et al. (1997), que já possui baixos níveis de permeabilidade e, até certo ponto, resistência ao desgaste, o efeito do endurecedor tende a ser menor. Até porque o produto tem uma maior dificuldade de penetração, em face da menor porosidade deste concreto.

O tratamento de superfície a base de silicato, segundo M. Venuat (ANO apud BAUER et al., 2002), é um procedimento conhecido desde muito tempo e consiste em tratar a superfície seca do concreto ou argamassa com o auxílio de uma solução diluída de silicato de sódio ( $3\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ ), ou de potássio ( $3\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$ ). O hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) procedente da hidratação do cimento é transformado em silicato de cálcio, que é mais resistente e insolúvel. Parte dos poros do concreto tende a ficar obstruídos, diminuindo a permeabilidade aos líquidos.

A eficiência do incremento de resistência à abrasão está ligada à profundidade de penetração do produto, usualmente entre 3 e 6 mm. Esta eficiência de endurecimento x poder de penetração foi discutida por Bauer et al. (2002), através de estudos em argamassa aonde se percebeu que:

- a) os endurecedores a base de silicatos e fluorsilicatos tem praticamente o mesmo desempenho;
- b) em argamassas com relação água/cimento até 0,5, a eficiência da aplicação do produto foi a mesma, já em argamassas com relação a/c 0,65 a eficiência do produto reduziu o desgaste na ordem de 15% a 18%, provavelmente devido a sua melhor penetração do produto.

Entretanto, o comitê 302 do ACI, em seu manual ACI 302.1R-96 (ACI, 1996), recomenda que os tratamentos superficiais líquidos somente sejam empregados pelos aplicadores em casos emergenciais de pisos mal construídos, para tratamento de deficiências de superfície.

### 2.5.3 Endurecedores cimentícios

Os produtos endurecedores cimentícios existem nos Estados Unidos desde o início do século XX, sendo o primeiro produto fabricado por uma empresa de produtos químicos para a construção, que o fabrica até hoje. O produto nasceu a partir da observação de dois mestres de obra do desgaste do concreto sujeito ao trânsito de rodas metálicas sobre o piso. A partir desta observação foi elaborado um produto a base de cimento e agregados metálicos para ser aplicado sobre o concreto para resistir a estes esforços.

No Brasil, os endurecedores cimentícios também são conhecidos simplesmente como agregados, dependendo da matéria-prima utilizada, minerais ou metálicos. Esta simplificação na denominação já pressupõe a adição de cimento à mistura. Entretanto, existem outras formulações que não contemplam a adição de cimento, como também, existe uma diversidade nos tipos de agregados minerais e metálicos utilizados.

Estes produtos são argamassas compostas de cimento, agregados de quartzo de alta dureza, ou agregados metálicos, e aditivos químicos, podendo conter sílica ativa na sua formulação. A utilização destas argamassas, conhecidas também como "dry-shake", reduzem a relação água/aglomerante superficial pela incorporação no concreto dos aglomerantes presentes no

produto, melhorando desta forma a matriz superficial do concreto e principalmente a zona de transição. A incorporação de agregados de alta dureza em granulometria adequada também contribui para o melhor desempenho da superfície do concreto. A adição de aditivos químicos reduz a necessidade de adição de água para tornar a superfície trabalhável. A aplicação desses materiais sobre o concreto pode ser realizada de duas formas distintas: manualmente, com o espalhamento do material sobre o concreto através de uma pá, ou com as mãos, conforme figura 22, sendo necessário um maior controle na taxa de aplicação e recomendado somente para obras de pequeno porte; ou mecanicamente, através de um equipamento denominado “spreader” que distribui de forma homogênea o material sobre a superfície do concreto, conforme figura 23.



Figura 22: aplicação manual do endurecedor cimentício

É com base nestes princípios que o uso de agregados minerais e metálicos passa a ser considerado como uma alternativa ao tratamento superficial de pisos industriais, já que, por possuírem agregados selecionados, cimento Portland de alta resistência inicial, e aditivos químicos, melhoram a superfície do concreto através da redução da relação água/aglomerante superficial assim como a incorporação de agregados de alta dureza, tornando a superfície dos pisos com as características favoráveis a resistência à abrasão observada por Metha e Monteiro (1994) e Aitcin (2000) de agregados de alta dureza e baixa relação

água/aglomerante. Um esquema de funcionamento do endurecedores pode ser visto na figura 24.



Figura 23: aplicação mecânica do endurecedor cimentício

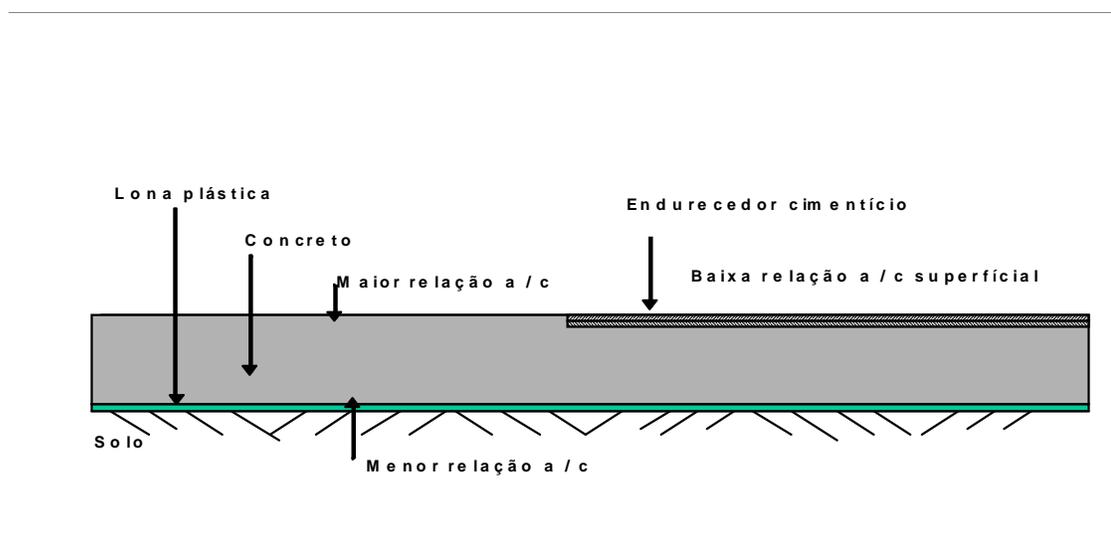


Figura 24: esquema de funcionamento do endurecedor cimentício

### 2.5.3.1 Endurecedores cimentícios compostos com agregado minerais

Endurecedor de superfície é fornecido em pó, pronto para uso, composto por cimento Portland, agregado mineral e aditivos químicos, podendo ser pigmentado. A taxa de aplicação recomendada pelo fornecedor através de seu manual técnico varia de 4 a 9 kg/m<sup>2</sup>.

É recomendado para áreas sujeitas ao trânsito leve a médio, ou aonde se pretende conferir um efeito estético à superfície de um piso industrial de concreto.

Na tabela 1, é apresentada a granulometria do material composto e, nas figuras 25 e 26, aplicações típicas do material.

Tabela 1: granulometria do endurecedor cimentício com agregado mineral

<b>Peneira</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Acumulada</b>
# 4,8		
# 2,4	4	4
# 1,2	14	18
# 0,6	18	36
# 0,3	11	47
# 0,15	11	58
#0,075	3	61
fundo	39	100



Figura 25: utilização de endurecedor cimentício colorido em supermercado



Figura 26: aplicação típica de endurecedor cimentício em centros de distribuição

### 2.5.3.2 Endurecedores cimentícios compostos com agregados metálicos

Endurecedor de superfície é fornecido em pó, pronto para uso, composto por cimento Portland, agregado metálico e aditivos químicos, podendo ser pigmentado. A taxa de aplicação recomendada pelo fornecedor através de seu manual técnico varia de 5 a 14 kg/m<sup>2</sup>.

É recomendado para áreas sujeitas ao trânsito pesado, com a utilização de rodas metálicas e sujeito ao impacto de peças metálicas e quando se busca impermeabilidade a óleo. Pode-se também conferir um efeito estético à superfície de um piso industrial de concreto.

Na tabela 2, é apresentada a granulometria do material composto e nas figuras 27 e 28 aplicações típicas do material.

Tabela 2: granulometria do endurecedor cimentício com agregado metálico

<b>Peneira</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Acumulada</b>
# 4,8		
# 2,4	1	1
# 1,2	11	12
# 0,6	36	48
# 0,3	14	62
# 0,15	3	65
# 0,075	1	66
fundo	34	100



Figura 27: piso industrial sujeito ao trânsito intenso, tratado com endurecedor cimentício com agregados metálicos.



Figura 28: detalhe da roda metálica utilizada em alguns equipamentos industriais que favorecem ao desgaste a abrasão da superfície de pisos

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

O programa experimental envolve a avaliação do desempenho de concretos com e sem o tratamento com endurecedores cimentícios, a comparação com diferentes relações água/aglomerante de concretos sem tratamento e o impacto do custo na viabilidade técnica e econômica de cada solução.

Para avaliar a influência da relação água/aglomerante, foram realizados ensaios em concretos com 3 relações água/aglomerante. A partir de um levantamento de dados realizado em algumas empresas de serviço de concretagem, conforme mostra o item 3.1.2, verificou-se que o concreto mais utilizado em aplicações de pisos industriais nas regiões consultadas corresponde ao fck 25 MPa. A relação água/aglomerante correspondente ao fck 25 MPa na empresa que se dispôs a participar do trabalho, era 0,60. A partir desta informação, buscaram-se nas dosagens de concreto disponíveis na central e que utilizavam os mesmos materiais, aquelas que proporcionassem o maior intervalo simétrico possível para comparação. Com esta análise chegaram-se as relações 0,45 e 0,75.

Foram avaliados dois materiais distintos para o tratamento superficial do concreto; endurecedor cimentício à base de agregados minerais, e endurecedor cimentício à base de agregados metálicos, pois são os dois materiais fornecidos no mercado pelo mesmo fabricante.

A avaliação dos endurecedores cimentícios ocorreu em três dosagens diferentes para cada um, 4, 8 e 12 kg/m<sup>2</sup>, visando-se estabelecer uma curva de desgaste para cada material. Mesmo que a dosagem de 12 kg/m<sup>2</sup>, para o agregado mineral, esteja fora da faixa recomendada pelo fabricante, assim como a dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup>, para o agregado metálico, optou-se por testar nestas dosagem para avaliar o desempenho comparativo entre os endurecedores.

Estes materiais foram aplicados sobre concretos de mesma relação água/aglomerante 0,60, pois foi a relação água/aglomerante adotada como referência.

Os materiais foram ensaiados através de dois métodos distintos, o procedimento da Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul, e o procedimento estabelecido pela NBR 12.042 (ABNT, 1992).

Todos os exemplares foram moldados no mesmo dia e tiveram o mesmo acabamento superficial através do uso de alisadora mecânica.

Com este experimento pretende-se avaliar:

- a) o comportamento do concreto ao desgaste por abrasão em diferentes relações água/aglomerante;
- b) a influência da utilização de endurecedores cimentícios no desgaste por abrasão;
- c) o desgaste promovido pelos diferentes métodos de ensaio;
- d) o efeito da aplicação dos diferentes endurecedores na mesma dosagem;
- e) a viabilidade econômica do uso de endurecedores cimentícios.

### 3.1.1 Levantamento das restrições do concreto utilizado

Os dados utilizados na pesquisa, para a resistência característica do concreto mais utilizado em aplicações de pisos industriais, foram levantados em 10 empresas de serviço de concretagem, de 9 cidades nas regiões da grande Porto Alegre, Vale do Taquari, e Serra Gaúcha, totalizando 16 centrais de concreto. A informação que foi levantada, em outubro de 2002, através de uma entrevista com os responsáveis técnicos das empresas, está apresentada na figura 29.

Com base neste levantamento, definiu-se como referência, o concreto de resistência característica de 25 MPa. A partir dos traços da empresa de serviços de concretagem, definiu-se a relação água/aglomerante 0,60 deste concreto como referência e o intervalo de 0,15 para mais e para menos, ou seja, como o limite superior 0,75 e limite inferior do estudo 0,45, pois

estes concretos correspondem aos concretos que estão nos extremos das relações água/aglomerante e que utilizam os mesmos materiais.

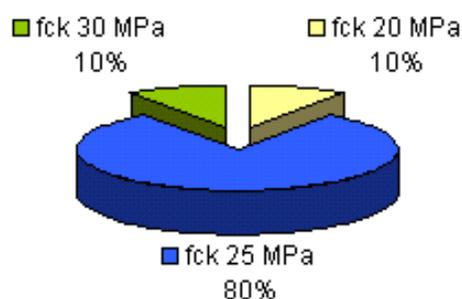


Figura 29: Resistência característica do concreto mais utilizada em pisos industriais.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

As características dos materiais utilizados para a execução do programa experimental, e fornecida pela empresa do setor, são descritas a seguir:

#### 3.2.1 Cimento

O cimento disponível na central foi o CP V ARI-RS. A análise do cimento foi realizada pelo fabricante, e fornecida pela empresa, conforme consta na figura 30.

Ensaio químicos		Ensaio Físicos	
Compostos	Teor		
SiO <sub>2</sub>	21,16%	início de pega (min)	158
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,29%	Fim de pega (min)	219
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,10%	Finura #200 (%)	0,17
CaO	52,56%	Finura #325 (%)	1,59
MgO	5,78%	Superfície específica (cm <sup>2</sup> /g)	4.587
SiO <sub>3</sub>	3,08%	Expansão a quente (mm)	0,3
RI	10,64%	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3
CaOlivre	1,29%	Resistência fc (dias)	MPa
PF	3,71%	1	21,8
		3	33,6
		7	39,4
		28	47,9

Figura 30: composição química, resistência e índices físicos do cimento.

### 3.2.2 Adição mineral

Utilizou-se, como adição mineral, cinza volante proveniente da queima de carvão mineral, num percentual de 25% sobre a massa do cimento. O material foi caracterizado através de ensaio realizado pela Universidade Federal de Santa Maria, conforme figura 31.

Massa Espec (g/cm <sup>2</sup> )	Área Espec (m <sup>2</sup> /kg)	Finura (% retido # 200)
NBR 6474	NBR 7224	NBR 11.579
2,083	494,71	15,04

Figura 31: caracterização da adição mineral

### 3.2.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia industrial produzida a partir da britagem de rocha basáltica, proveniente de Bento Gonçalves, produzida por uma empresa do mesmo grupo da concreteira.

As características físicas, e a distribuição granulométrica estão relacionadas na tabela 3, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 3: caracterização do agregado miúdo utilizado na produção do concreto

<b>Peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Acumulada</b>
# 4,8		
# 2,4	4	4
# 1,2	33	37
# 0,6	24	61
# 0,3	15	76
# 0,15	9	85
# 0,075	6	91
fundo	9	100
D máx característico		2,4
Modulo de finura (NBR NM 248)		2,63
Graduação (NBR NM 248)		média
Massa específica (NBR NM 52)		2,72 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi basalto britado, proveniente de Bento Gonçalves, produzido por uma empresa do mesmo grupo da concreteira. Para a produção dos concretos, utilizou-se a mesma proporção granulométrica de brita 1 e brita 0, da mesma forma que é utilizada pela central dosadora para a produção diária de concreto, de forma a manter as características dos concretos fornecidos ao mercado consumidor.

As características físicas e a distribuição granulométrica da brita 0 e da brita 1, estão relacionadas, respectivamente, nas tabelas 4 e 5, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 4: caracterização da brita 0 utilizada na produção do concreto

<b>Peneira</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Acumulada</b>
# 19		
# 12,5		
# 9,5		
# 6,3	74	74
# 4,8	24	98
# 2,4	2	100,0
fundo	0	100,0
D máx característico		9,5
Modulo de finura (NBR NM 248)		5,98
Massa específica (NBR NM 53)		2,72 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 5: caracterização da brita 1 utilizada na produção do concreto

<b>Peneira</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Acumulada</b>
# 25		
# 19		
# 12,5	60	60
# 9,5	24	84
# 6,3	12	96
# 4,8	3	99
fundo	1	100,0
D máx característica		19
Modulo de finura (NBR NM 248)		6,84
Massa especifica (NBR NM53)		2,72 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2.5 Aditivo

Como aditivo utilizou-se um plastificante à base de lignosulfonado.

A análise do aditivo foi realizada pelo próprio fabricante e os resultados estão apresentados na figura 32.

<b>Características</b>	<b>Valores</b>
Teor de sólidos (NBR 10.908)	42 à 46 %
pH (NBR 10.908)	7 à 9
Densidade (NBR 10.908)	1,19 à 1,23

Figura 32: ensaio de uniformidade do aditivo

### 3.2.6 Água

A água utilizada para a produção dos concretos foi proveniente do poço artesiano da própria concreteira, cujas características atendem a NBR NM 137 (ABNT, 1997).

## 3.3 CONCRETO UTILIZADO NOS ENSAIOS

Os traços empregados no estudo foram os mesmos utilizados pela empresa no fornecimento normal de concreto, sendo considerados um abatimento de 90 +/- 10 mm, teor de argamassa seca ideal de 54% e uso de aditivo plastificante para todos os concretos.

A tabela 6 apresenta o proporcionamento, em massa, e os parâmetros de dosagem dos concretos utilizados.

Tabela 6: parâmetros de dosagem utilizados

Parâmetros	Relação água/aglomerante		
	0,75	0,60	0,45
Teor de argamassa	54%	54%	54%
Teor de água/materiais secos	11,4%	11,4%	11,4%
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	250	313	417
Cinza (kg/m <sup>3</sup> )	63	79	104
Areia Industrial (kg/m <sup>3</sup> )	802	725	585
Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> )	171	171	171
Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	779	780	782
Aditivo (% sobre a massa do cimento)	0,5	0,5	0,5
Água (l/m <sup>3</sup> )	235	235	235

A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do ensaio de abatimento de tronco de cone, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). O abatimento foi estabelecido como uma variável controlada, fixado na faixa de 90 +/- 10mm (figura 33).



Figura 33: ensaio de abatimento do tronco de cone

Para a verificação da resistência à compressão axial foram moldados 2 corpos-de-prova cilíndricos 15 cm x 30 cm, por idade. As resistências à compressão foram avaliadas nas idades de 7 e 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 1994).

A moldagem dos corpos-de-prova seguiu as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 1994), conforme mostra a figura 34.



Figura 34: corpos de prova para controle tecnológico

Os corpos-de-prova, após a moldagem, foram mantidos em câmara úmida, na própria empresa, até a idade do ensaio, com temperatura ( $23^{\circ}\text{C} + / - 2^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa ( $>95\%$ ) controlada.

A tabela 7 apresenta os resultados de abatimento e a resistência dos concretos executados.

Tabela 7: Controle de resistência e abatimento do concreto

a/agl	Abatimento	Resistência (MPa)	
		fc7	fc28
0,75	80 mm	15,2	22,1
		15,2	22,3
0,60	80 mm	20,5	28,3
		19,9	27,8
0,45	90 mm	32,3	42,2
		35,2	44,0

### 3.4 DETERMINAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a verificação da influência dos endurecedores cimentícios na resistência à abrasão do concreto, foram moldados corpos-de-prova de 800 mm x 800 mm x 60 mm, para cada concreto de relação água/aglomerante 0,45, 0,60 e 0,75 e sem a aplicação de qualquer tratamento. A partir da relação água/aglomerante de 0,60 foi aplicado o endurecedor cimentício com agregado mineral nas dosagens de  $4 \text{ kg/m}^2$ ,  $8 \text{ kg/m}^2$  e  $12 \text{ kg/m}^2$ , obedecendo ao procedimento de aplicação citado no item 8.6.1. do ACI 302 (ACI, 1996) e apresentados na figura 36. Para avaliação do efeito do endurecedor cimentício com agregado metálico, utilizou-se a mesma relação água/aglomerante anterior, porém o procedimento de aplicação seguido foi o descrito no item 8.6.2 do ACI 302 (ACI, 1996) apresentados na mesma figura.

Foram adotados os procedimentos recomendados neste guia tendo em vista que se trata de procedimentos específicos para a construção de pisos industriais de concreto abrangendo a utilização de endurecedores cimentícios. Estes procedimentos estão detalhados e ilustrados nas figuras de 39 a 43.

A partir de uma matriz de ensaios, conforme apresentado no tabela 8 foram avaliadas as diferentes relações água/aglomerante e os diferentes tipos de tratamento em diferentes dosagens.

Tabela 8: matriz de ensaios para avaliar o efeito dos endurecedores cimentícios

Dosagem (kg/m <sup>2</sup> )	Endurecedor cimentício	Relação água/aglomerante		
		0,45	0,60	0,75
0	Sem tratamento	X	X	X
4	Agregado mineral		X	
8			X	
12			X	
4	Agregado metálico		X	
8			X	
12			X	

### 3.4.1 Moldagem dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova para os ensaios de resistência à abrasão foram obtidos a partir da concretagem de nove corpos-de-prova de seção de 800 mm x 800 mm x 60 mm. Esta dimensão foi estabelecida para que o acabamento superficial pudesse ser realizado através do uso de uma alisadora mecânica que possui diâmetro de 800 mm. A fôrma utilizada pode ser vista na figura 35.



Figura 35: forma de madeira utilizada para moldagem dos corpos-de-prova

O trabalho foi desenvolvido no laboratório da empresa de serviços de concretagem que participou do trabalho, para a moldagem dos corpos-de-prova com e sem tratamento. Uma empresa especializada na execução de pisos industriais, forneceu mão de obra e equipamento para a moldagem.

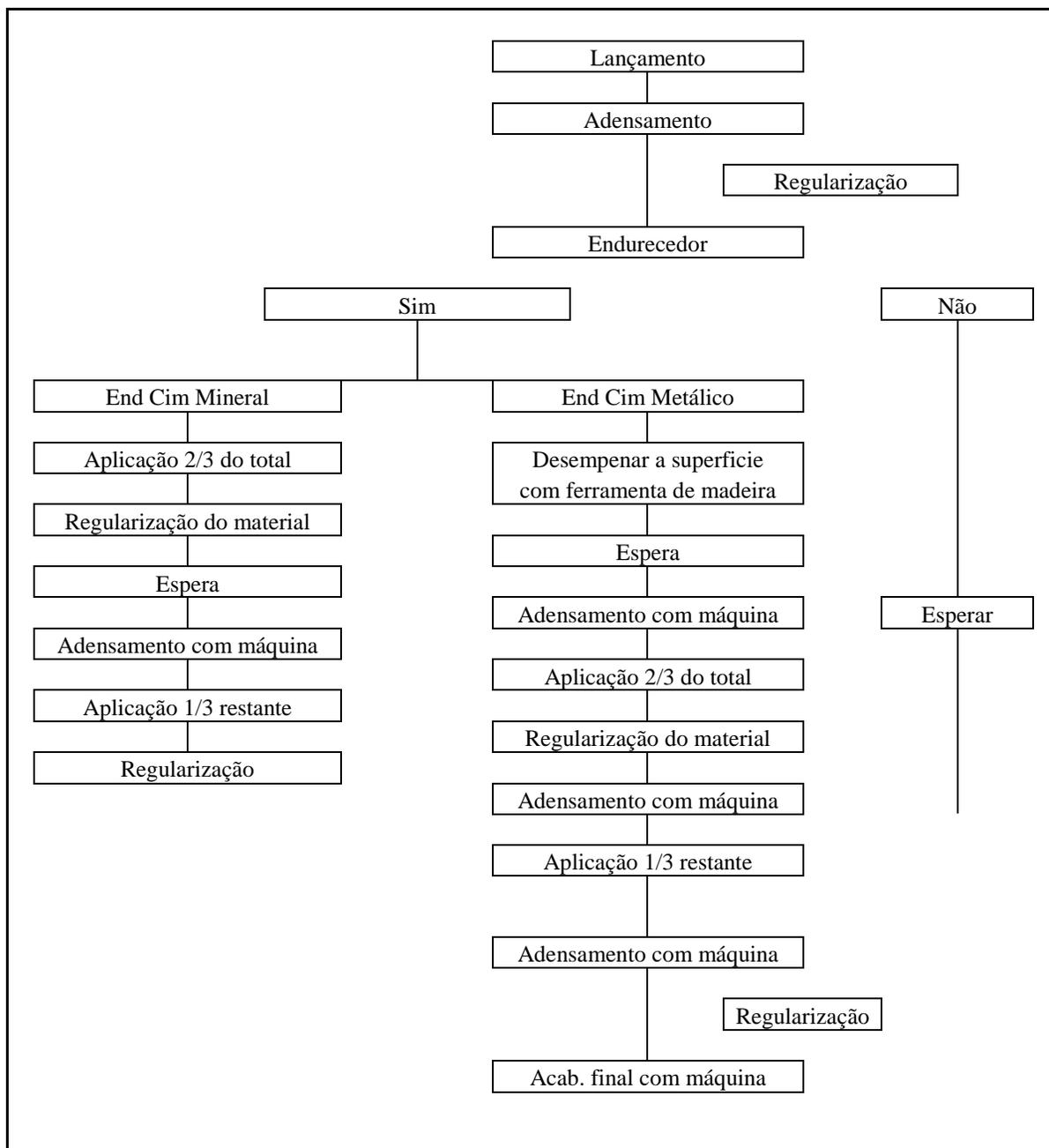


Figura 36: procedimento para aplicação de endurecedores cimentícios

Foram moldados sete corpos-de-prova com relação água/aglomerante 0,60, um com relação 0,75 e um com relação 0,45. Dos sete corpos-de-prova com relação água/aglomerante 0,60, seis receberam tratamento superficial, sendo três com endurecedor composto com agregado mineral e três com endurecedor composto com agregado metálico. Todos os corpos-de-prova foram moldados no mesmo dia para que a condição de execução permanecesse praticamente constante. A moldagem dos corpos-de-prova pode ser vista na figura 37.



Figura 37: concretagem dos corpos-de-prova

Os endurecedores foram pesados e separados de acordo com a taxa de aplicação, conforme figura 38. Após a concretagem dos corpos-de-prova, a superfície foi preparada para receber o material utilizando-se uma desempenadeira de madeira. (figura 39).



Figura 38: pesagem do material



Figura 39: regularização da superfície com desempenadeira de madeira

Após o preparo da superfície, os endurecedores eram aplicados em camadas, pois o manual do fabricante recomenda um consumo máximo de  $5 \text{ kg/m}^2$  por camada. Como os consumos testados eram múltiplos de 4, adotou-se um consumo de  $4 \text{ kg/m}^2$  por camada para aplicação do material, conforme figura 40.



Figura 40: aplicação do material sobre a superfície do corpo-de-prova

Após a aplicação do material, esperou-se o escurecimento da superfície como sinal de que todo o material já estivesse umedecido (figura 41), para então, novamente promover um desempenho da superfície e a posterior aplicação da camada seguinte.



Figura 41: escurecimento da superfície, evidenciando a absorção de umidade pelo material

Quando todo o material já estivesse incorporado ao concreto e assim que a superfície pudesse suportar o peso da máquina acabadora (condição de espera da figura 36), iniciava-se o processo de desempenho mecânico da superfície com o auxílio de uma ferramenta chamada disco, que é encaixada nas pás de acabamento para proporcionar um aumento da superfície de contato da máquina com o concreto a ser acabado, conforme figura 42.



Figura 42: desempenho mecânico com alisadora utilizando disco

A partir da obtenção de uma superfície de concreto homogênea e compactada, e estando o concreto mais rígido e capaz de suportar o peso da alisadora, promoveu-se o acabamento mecânico utilizando-se somente as pás da alisadora para se atingir o espelhamento da superfície. Estas etapas de acabamento são influenciadas por vários fatores, como a dosagem do concreto, a temperatura e umidade relativa do ar e também pelo uso de aditivos químicos no concreto (figura 43).



Figura 43: acabadora mecânica com pá

Os corpos-de-prova foram mantidos em cura úmida por 10 dias. O processo de cura consistiu em molhar os corpos-de-prova a cada dois dias, mantendo-se uma cobertura com lona plástica para evitar a evaporação da água, conforme figura 44.

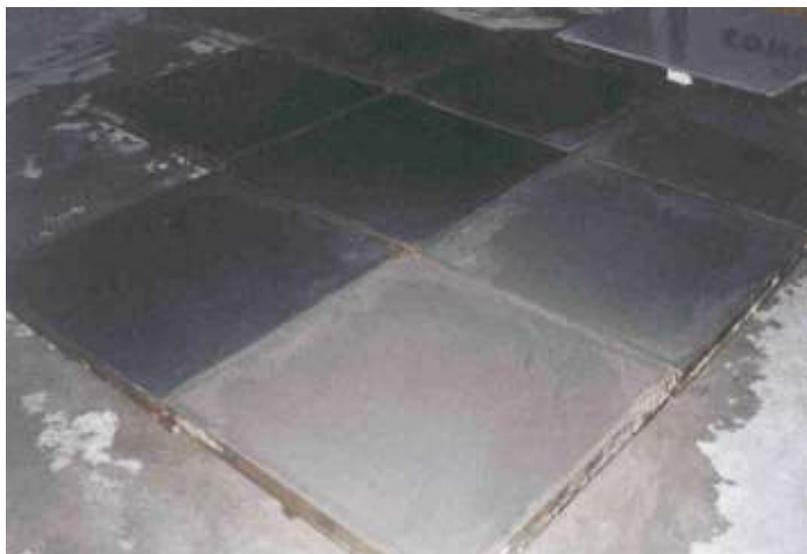


Figura 44: cura dos corpos-de-prova

Após estes 10 dias os corpos-de-prova ficaram expostos ao ar. No 14º dia todos os corpos-de-prova foram serrados e identificados. Após o levantamento fotográfico para o registro do trabalho os corpos-de-prova foram enviados para os ensaios de abrasão nos laboratórios. Era importante chegarem no prazo para atender aos procedimentos internos dos laboratórios para serem ensaiados aos 28 dd. Para evitar a influência de qualquer efeito de borda, como a absorção de água da mistura do concreto pela forma, o que poderia alterar algum resultado, foi desconsiderado 100 mm de cada borda para a extração, conforme figura 45 Os ensaios forma realizados aos 28 dias.

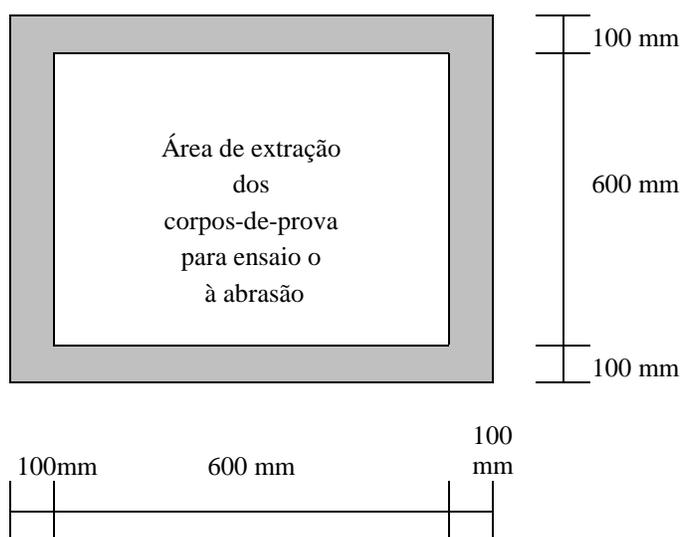


Figura 45: área limite para extração dos corpos-de-prova para ensaio de resistência à abrasão

### 3.4.2 Corpos-de-prova para os ensaios de abrasão

A partir da área central da placa, foram extraídos os corpos-de-prova de forma que o corte com disco diamantado fosse otimizado, figuras 46 e 47

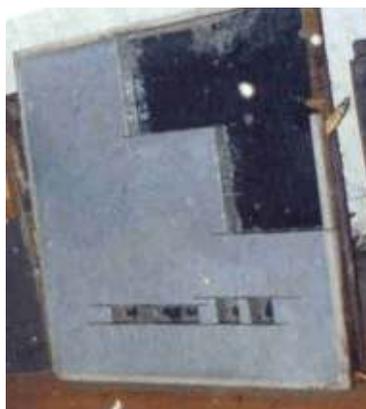


Figura 46: locais da extração dos corpos-de-prova



Figura 47: corpos-de-prova extraídos e identificados

Para a realização dos ensaios de resistência à abrasão pela NBR 12042 (ABNT, 1992), foram extraídos dois corpos-de-prova de 7,5 cm x 7,5 cm, conforme solicitação da norma, figura 48. Para os ensaios conforme o procedimento da CIENTEC, foram extraídos quatro corpos-de-prova de 5,0 cm x 5,0 cm, figura 49. Todos os corpos-de-prova foram numerados de forma aleatória e enviados aos laboratórios para serem ensaiados sem a identificação do material aplicado para evitar qualquer tendência na análise dos resultados. A identificação das amostras é apresentada na tabela 9.



Figura 48: corpos-de-prova para ensaio conforme NBR 12.042 (ABNT, 1992)



Figura 49: corpos-de-prova para ensaio de desgaste por abrasão pela CIENTEC

Tabela 9 – Identificação dos corpos-de-prova enviados aos laboratórios para o ensaio de desgaste por abrasão.

Dosagem (kg/m <sup>3</sup> )	Endurecedor cimentício	Relação água/aglomerante		
		0,45	0,6	0,75
0	Sem tratamento	9	1	5
4			6	
8	Agregado mineral		4	
12			7	
4			2	
8	Agregado metálico		8	
12			3	

### 3.4.3 Ensaio de resistência à abrasão

Os ensaios de resistência à abrasão foram realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC), em Porto Alegre, e na L. A Falcão Bauer, em São Paulo, conforme os procedimentos apresentados no item 2.4.

## 3.5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos através dos ensaios realizados pela NBR 12.042 (ABNT, 1992) e pelo procedimento da CIENTEC, para os concretos sem tratamento e com tratamento superficial. O ajuste linear apresentou a melhor correlação entre todos os ajustes, com exceção do endurecedor com agregado mineral, que em nenhum tipo de ajuste apresentou boa correlação. Avaliaram-se também os resultados em cada método de ensaio e para cada variável envolvida.

### 3.5.1 Método NBR 12.042

O método preconizado pela NBR 12.042 (ABNT, 1992) estabelece que o resultado do ensaio é dado pela média dos índices de desgaste dos dois corpos-de-prova ensaiados simultaneamente, em cada etapa de medição, ou seja, 500m e 1000m.

#### 3.5.1.1 Concreto sem tratamento superficial

Os resultados da tabela 10 mostram que há uma influência da relação água/aglomerante no desempenho à abrasão do concreto.

Tabela 10: Resultados de abrasão dos concretos com diferentes relações água/aglomerante pela NBR 12.042 (ABNT, 1992)

Percurso	CP	Relação água/aglomerante		
		0,75	0,60	0,45
500m	1	, 70 mm	1,20 mm	1,30 mm
	2	1,50 mm	1,70 mm	1,20 mm
1000m	1	2,90 mm	2,20 mm	2,50 mm
	2	2,70 mm	2,90 mm	2,40 mm
Média 500m		1,60 mm	1,45 mm	1,25 mm
Média 1000m		2,80 mm	2,55 mm	2,45 mm

O gráfico da figura 50 apresenta os resultados do percurso de 1.000 m conforme estabelece a NBR 12.042 (ABNT,1992).

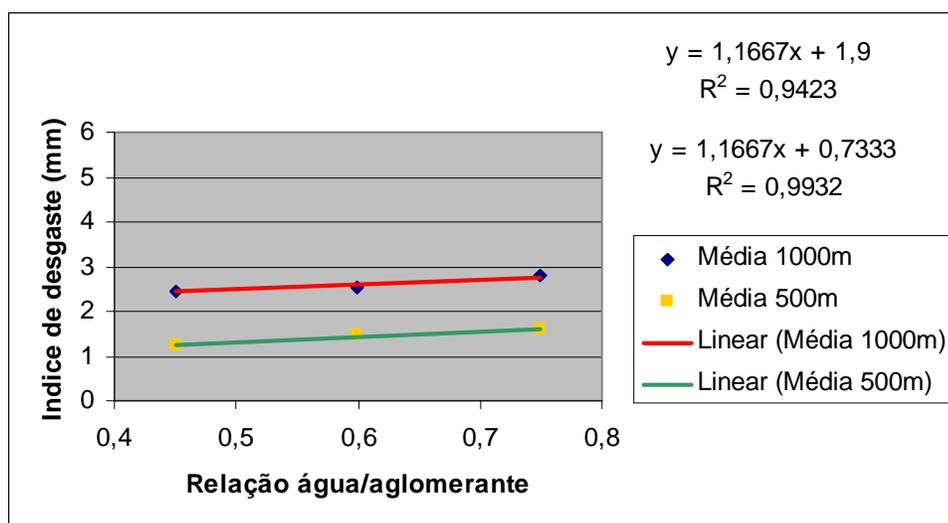


Figura 50: desgaste por abrasão do concreto com diferentes relações água/aglomerante pela NBR 12.042 (ABNT, 1992)

O desgaste relativo à metade do percurso representou 57% do desgaste total para os corpos-de-prova de relação água/aglomerante de 0,75 e 0,60 enquanto que para o corpo-de-prova de relação 0,45 foi de aproximadamente 51%.

O coeficiente de correlação para o percurso de 1000 m, de 0,94, apresentado na figura 4.22 indica que para as condições destes ensaios a relação entre o desgaste à abrasão e a relação água/aglomerante do concreto se correlacionam muito bem de forma linear.

### 3.5.1.2 Concreto tratado com endurecedor composto de agregado mineral

Os resultados da tabela 11 mostram que houve um comportamento irregular dos corpos-de-prova tratados com endurecedor cimentício constituído de agregado mineral. Para as dosagens de  $4\text{kg/m}^2$  e  $8\text{kg/m}^2$ , 43% do desgaste total ocorreu na primeira metade do percurso, enquanto que para a dosagem de  $12\text{kg/m}^2$  o desgaste foi de 52% do desgaste total.

Quando a dosagem foi aumentada de  $4\text{kg/m}^2$  para  $8\text{kg/m}^2$  à abrasão reduziu em 30%, enquanto que para o aumento de  $4\text{kg/m}^2$  para  $12\text{kg/m}^2$  a redução foi de praticamente 17%. Se compararmos as dosagens de  $8\text{kg/m}^2$  e  $12\text{kg/m}^2$  é possível observar um aumento do desgaste à abrasão, o que não era esperado e provavelmente, se deve a uma anormalidade no ensaio com o corpo-de-prova de  $12\text{kg/m}^2$ . Como houve apenas uma repetição do ensaio, os resultados obtidos mostram apenas uma tendência de comportamento, para os materiais utilizados.

Tabela 11: resultados dos corpos-de-prova tratados com endurecedor cimentício com agregado mineral pela NBR 12042 (ABNT, 1992)

Percurso	CP	Agregado mineral(kg/m <sup>2</sup> )		
		4	8	12
<b>500m</b>	1	0,60 mm	0,50 mm	0,60 mm
	2	0,70 mm	0,40 mm	0,70 mm
<b>1000m</b>	1	1,50 mm	1,20 mm	1,10 mm
	2	1,50 mm	0,90 mm	1,40 mm
<b>Média 500m</b>		0,65 mm	0,45 mm	0,65 mm
<b>Média 1000m</b>		1,50 mm	1,05 mm	1,25 mm

O coeficiente de correlação apresentado foi muito baixo com estes resultados. Isto evidencia que, para as amostras avaliadas houve a interferência de outras variáveis no ensaio, ou mesmo um erro em algum dos ensaios dos corpos-de-prova, sendo estes resultados sujeitos a verificação por novos ensaios.

### 3.5.1.3 Concreto tratado com endurecedor composto de agregado metálico

O desgaste por abrasão na primeira etapa do ensaio ocorreu de forma heterogênea, considerando os valores médios, sendo de 30%, para a dosagem de  $4\text{kg/m}^2$ , de 62% para a dosagem de  $8\text{kg/m}^2$  e de 35% para a dosagem de  $12\text{kg/m}^2$ , conforme tabela 12. O coeficiente

de correlação foi extremamente baixo, indicando que esta equação não pode ser utilizada em comparações futuras. Já para a etapa de 1000 m é possível evidenciar uma redução do desgaste à abrasão com o aumento da dosagem do material. Aumentando-se a dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup> para 8 kg/m<sup>2</sup>, a redução foi de 30%, enquanto que entre a dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup> e 12 kg/m<sup>2</sup>, a redução foi de 54%. Entretanto comparadas as dosagens de 8 kg/m<sup>2</sup> e 12 kg/m<sup>2</sup> esta redução foi de apenas 35%.

Tabela 12: resultados dos corpos-de-prova tratados com endurecedor cimentício com agregado metálico segundo a NBR 12042 (ABNT, 1992)

Percurso	CP	Agregado metálico (kg/m <sup>2</sup> )		
		4	8	12
<b>500m</b>	1	0,60 mm	1,00 mm	0,30 mm
	2	0,50 mm	0,60 mm	0,30 mm
<b>1000m</b>	1	2,00 mm	1,50 mm	0,90 mm
	2	1,70 mm	1,10 mm	0,80 mm
<b>Média 500m</b>		0,55 mm	0,80 mm	0,30 mm
<b>Média 1000m</b>		1,85 mm	1,30 mm	0,85 mm

O coeficiente de correlação da equação para o ensaio no percurso de 1000m apresentado na figura 51 evidencia que os valores encontrados são bastante coerentes, e esta equação é válida neste ensaio.

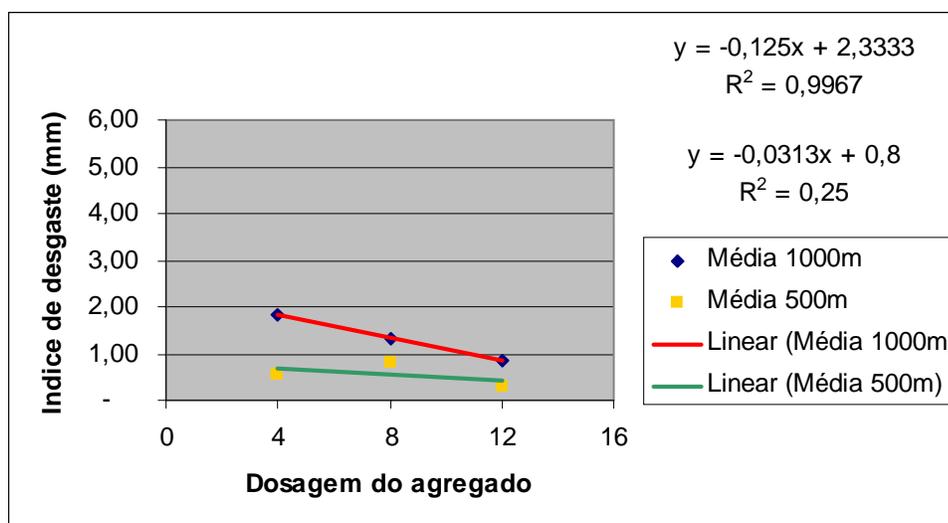


Figura 51: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado metálico pela NBR 12.042 (ABNT, 1992)

### 3.5.2 Método CIENTEC

O método desenvolvido pela CIENTEC estabelece que o resultado do ensaio é dado pela média do desgaste em cinco pontos no corpo-de-prova ao final de um percurso de 500 m.

#### 3.5.2.1 Concreto sem tratamento superficial

Os resultados da tabela 13 mostram, assim como no ensaio da NBR 12.042 (ABNT, 1992), que há uma influência da relação água/aglomerante no desempenho à abrasão do concreto. A redução da relação água/aglomerante de 0,75 para 0,60 reduziu o desgaste, em média, em 11% e entre 0,75 e 0,45 a redução média foi de 17%.

Tabela 13: resultados de abrasão dos concretos com diferentes relações água/aglomerante pelo método da CIENTEC

Percurso	CP	Relação água/aglomerante		
		0,75	0,60	0,45
500m	1	4,43 mm	3,82 mm	3,63 mm
	2	4,76 mm	4,25 mm	3,83 mm
	3	4,69 mm	4,41 mm	4,12 mm
	4	5,20 mm	4,42 mm	4,25 mm
<b>Média</b>		4,77 mm	4,23 mm	3,96 mm

O coeficiente de correlação que melhor representou a relação entre o desgaste à abrasão e a relação água/aglomerante foi o linear, conforme mostra a figura 52.

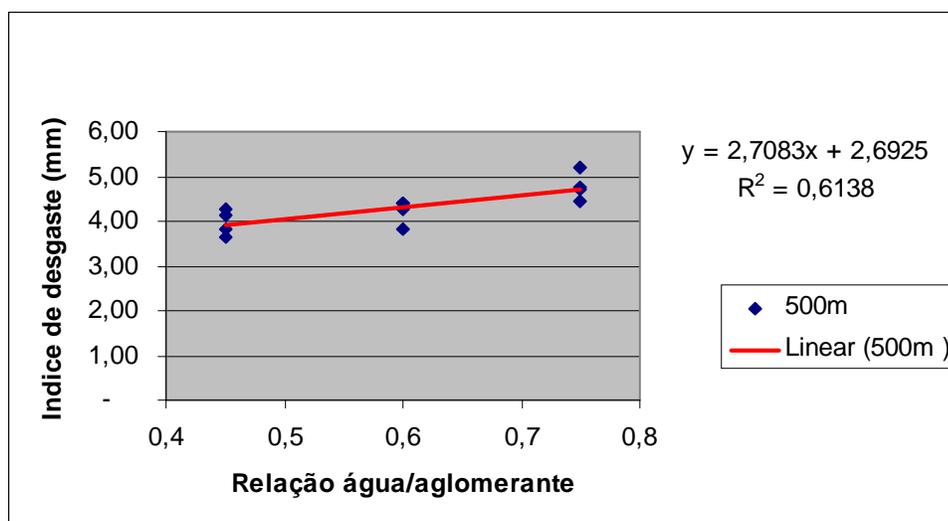


Figura 52: desgaste por abrasão do concreto com diferentes relações água/aglomerante pelo método da CIENTEC

### 3.5.2.2 Concreto tratado com endurecedor composto de agregado mineral

Os resultados da tabela 14 mostram que, assim como no ensaio da NBR 12.042 (ABNT, 1992), houve um comportamento irregular dos corpos-de-prova tratados com endurecedor cimentício com agregado mineral.

Os resultados indicam que existe uma redução do desgaste com o aumento da dosagem do material. Esta redução porém só ocorre na comparação entre as dosagens de 4 kg/m<sup>2</sup> ou 8 kg/m<sup>2</sup> que apresentaram praticamente o mesmo desgaste quando comparadas com a dosagem de 12 kg/m<sup>2</sup> o que reduziu o desgaste em 30%.

Tabela 14: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado mineral pelo método da CIENTEC

Percurso	CP	Agregado mineral (kg/m <sup>2</sup> )		
		4	8	12
500m	1	4,50 mm	4,53 mm	3,14 mm
	2	4,95 mm	4,61 mm	3,19 mm
	3	5,00 mm	4,74 mm	3,20 mm
	4	5,05 mm	5,26 mm	4,05 mm
<b>Média</b>		4,88 mm	4,79 mm	3,40 mm

O coeficiente de correlação do ajuste da curva foi 0,664 o que não traduz num resultado confiável para comparativos futuros. Pela análise dos pontos do gráfico apresentado na figura 53, pode-se observar que a redução é insignificante para um aumento da dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup> para 8 kg/m<sup>2</sup>, mas torna-se mais evidente com o aumento da dosagem para 12 kg/m<sup>2</sup>. Pela observação do autor, os resultados podem estar relacionados às seguintes variáveis:

- a) a eficiência do material ficou prejudicada pela quantidade de água utilizada no traço, aproximadamente 235 l/m<sup>3</sup>, o que impede de reduzir a relação água/aglomerante superficial em determinadas dosagens de endurecedor. Este consumo é devido ao excesso de material pulverulento encontrado no agregado miúdo, próximo a 9%, sendo que Giammusso (1992) em seu manual do concreto estabelecia um limite de 3% para o agregado miúdo em casos em que o concreto estivesse sujeito ao desgaste superficial;
- b) esta característica do agregado miúdo proporcionou ao traço uma característica de baixa velocidade de exsudação, mesmo com um alto consumo de água do traço. Este comportamento impedia que toda a água de exsudação evaporasse antes do momento da aplicação do endurecedor cimentício;
- c) o método da CIENTEC é muito mais abrasivo que o método da NBR 12042 (ABNT, 1992) e o que ocorre é que em determinadas quantidades todo material aplicado que é composto por agregado mineral é desgastado pelo carbetto de silício e o agregado graúdo é quem acaba por resistir ao desgaste por abrasão.

Dito isto, pode-se avaliar que a quantidade de material utilizado para tratar a superfície do concreto nas dosagens de 4 kg/m<sup>2</sup> e 8 kg/m<sup>2</sup> não foram suficientes para promover uma redução da relação água/aglomerante superficial, resultando em um material de baixa resistência, tornando o seu desgaste mais rápido e contribuindo para os altos índices de desgaste verificados. Somente para a dosagem de 12 kg/m<sup>2</sup> é que existiu material suficiente na superfície do concreto para promover uma redução da relação água/aglomerante e uma redução no desgaste por abrasão.

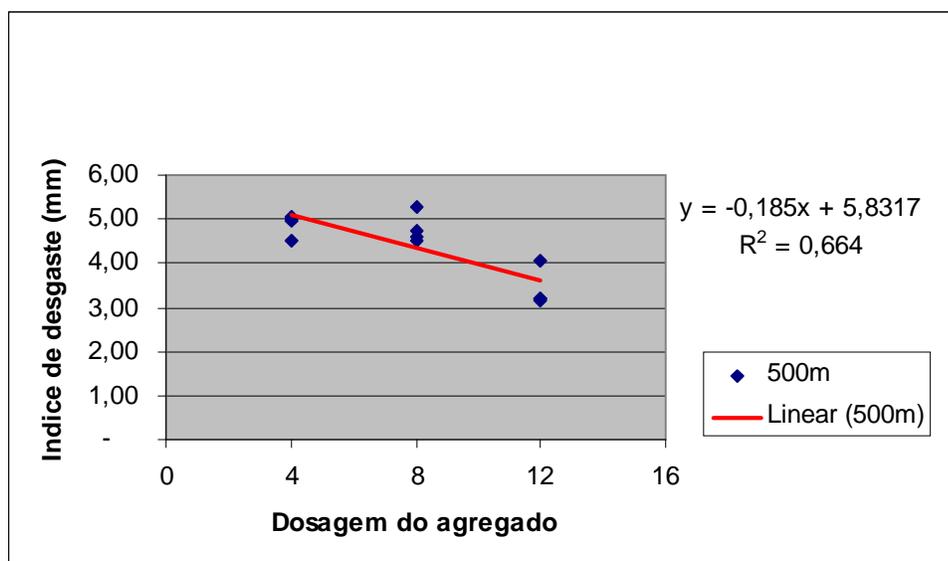


Figura 53: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado mineral, segundo método da CIENTEC

### 3.5.2.3 Concreto tratado com endurecedor composto de agregado metálico

Os resultados da tabela 15 mostram que também houve uma redução do desgaste por abrasão do concreto com o aumento da dosagem do material. Comparando-se as dosagens de 4 kg/m<sup>2</sup> e 8 kg/m<sup>2</sup>, a redução foi de 11%, e comparando-se a dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup> com a de 12 kg/m<sup>2</sup> esta redução foi de 28%. Enquanto que a redução do desgaste entre as dosagens de 8 kg/m<sup>2</sup> e de 12 kg/m<sup>2</sup> foi de 19%.

Tabela 15: resultados de abrasão dos concretos tratados com endurecedor cimentício com agregado metálico pelo método da CIENTEC

Percurso	CP	Agregado metálico (kg/m <sup>2</sup> )		
		4	8	12
500m	1	1,24 mm	1,26 mm	0,70 mm
	2	1,52 mm	1,28 mm	1,11 mm
	3	1,58 mm	1,34 mm	1,15 mm
	4	1,60 mm	1,44 mm	1,30 mm
<b>Média</b>		1,49 mm	1,33 mm	1,07 mm

O ajuste da curva, conforme indica a figura 54, mostra que a melhor correlação entre a relação água/aglomerante e a dosagem do material ocorre de forma linear.

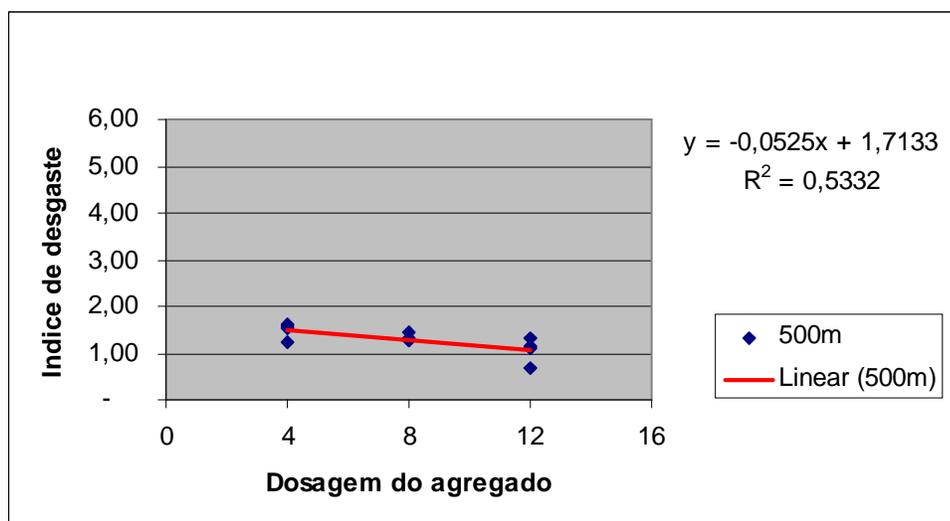


Figura 54: desgaste por abrasão do endurecedor composto com agregado metálico pelo método da CIENTEC.

### 3.6 CORRELAÇÃO DE RESULTADOS

Na interpretação dos resultados, procurou-se estabelecer um parâmetro de comportamento quando analisados os resultados através de uma variável. Assim procurou-se comparar os resultados confrontando o desgaste à abrasão com a relação água/aglomerante, os métodos de ensaios utilizados, os tipos de tratamentos utilizados e também a relação custo/benefício de cada solução empregada.

#### 3.6.1 Desgaste x relação água/aglomerante

A equação estabelecida pela correlação linear, da figura 55, mostra que o método da CIENTEC é mais abrasivo que o estabelecido pela NBR 12.042 (ABNT, 1992).

Os resultados de ensaio dos concretos sem tratamento evidenciaram uma relação linear entre a relação água/aglomerante e o desgaste à abrasão. Isto ficou indicado pelos dois métodos de ensaio utilizados.

No ensaio da CIENTEC, os corpo-de-prova com relação água/aglomerante 0,45 tiveram um desgaste, em média, 17% menor que o concreto com relação água/aglomerante 0,75, nos concretos com relação água/aglomerante 0,60 esta diferença foi de apenas 6%.

Esta diferença foi bastante semelhante à encontrada no ensaio pela NBR 12042 (ABNT, 1992). Para o percurso de 1000m, os corpos-de-prova com relação água/aglomerante 0,45 tiveram um desgaste 12,5% menor que os corpos-de-prova com relação água/aglomerante 0,75, e 4% quando comparado com os de relação água/aglomerante 0,60, conforme indica a tabela 16 e a figura 56.

Tabela 16: resultados médios de desgaste à abrasão

	Relação água/aglomerante		
	0,75	0,60	0,45
<b>CIENTEC 500m</b>	4,77 mm	4,23 mm	3,96 mm
<b>NBR 12042 1000m</b>	2,80 mm	2,55 mm	2,45 mm

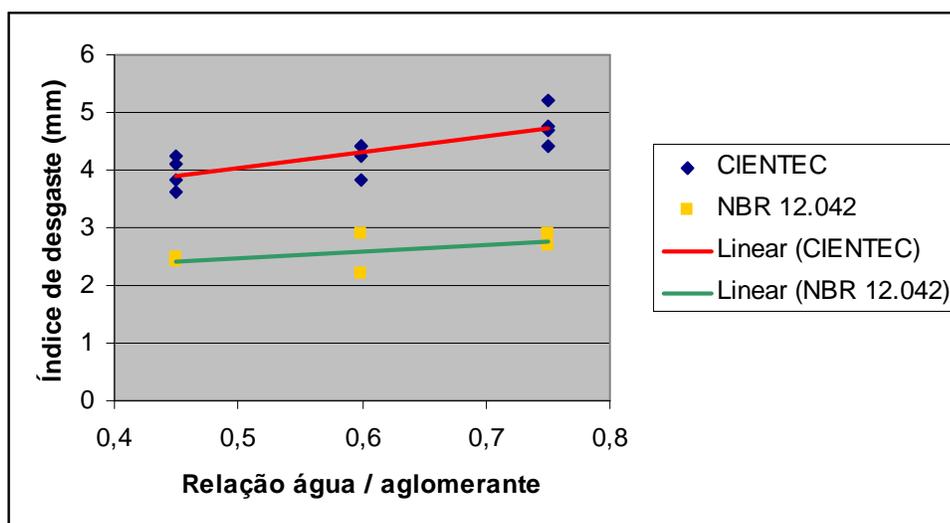


Figura 55: correlação entre os índices de desgaste com a relação água / aglomerante para os dois métodos de ensaio.

Contudo pode-se observar o baixo incremento na redução do desgaste à abrasão causado pela redução da relação água/aglomerante do concreto.

### 3.6.2 Comparativo de métodos

O desgaste promovido pelo ensaio da CIENTEC, mesmo que percorrendo metade da distância, apresentou um desgaste maior do que os apresentados pelo ensaio da NBR 12.042 (ABNT, 1992) sendo esta uma conclusão restrita aos materiais ensaiados neste experimento não se podendo tomar esta conclusão como uma regra tendo em vista o baixo número de corpos-de-prova ensaiados. No entanto, pode-se afirmar que o carbetto de silício utilizado como material abrasivo pelo método da CIENTEC é muito mais abrasivo que o quartzo utilizado pelo método da ABNT para desgastar o concreto.

O aumento do número de corpos-de-prova no ensaio da CIENTEC se mostrou eficiente, pois o procedimento apresentou uma diferença entre o maior e o menor valor de desgaste próximo a 15% para as três relações água/aglomerante. Enquanto que o ensaio pela NBR 12.042 a diferença entre os resultados dos ensaios variaram entre 4% e 24%, conforme tabela 17.

Tabela 17: resultados, em mm, por corpo-de-prova dos ensaios a abrasão através dos dois métodos utilizados.

CP	Relação água/aglomerante					
	CIENTEC (500m)			NBR 12.042 (1000 m)		
	0,75	0,6	0,45	0,75	0,60	0,45
<b>1</b>	4,43	3,82	3,63	2,90	2,20	2,50
<b>2</b>	4,76	4,25	3,83	2,70	2,90	2,40
<b>3</b>	4,69	4,41	4,12			
<b>4</b>	5,20	4,42	4,25			
<b>Média</b>	4,77	4,23	3,96	2,80	2,55	2,45
<b>Varição</b>	14,81%	13,57%	14,59%	7,41%	24,14%	4,17%

Os resultados obtidos nestes ensaios mostram que a relação entre os dois métodos é complicada, pois a variação de resultados dentro do mesmo grupo de corpos-de-prova indica a necessidade de se trabalhar com um número de corpos-de-prova maior, conforme é possível visualizar na figura 56.

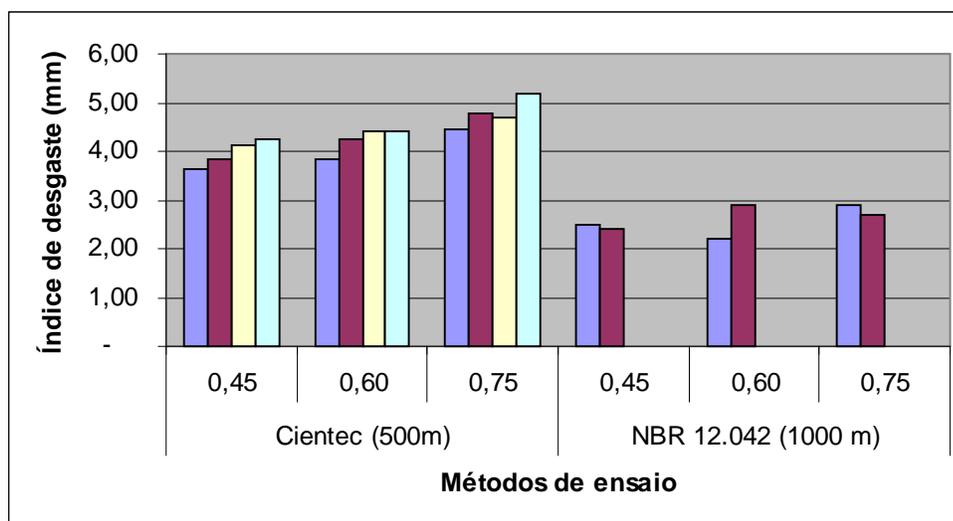


Figura 56: resultados de resistência ao desgaste por abrasão por grupo de corpos-de-prova entre os dois métodos de ensaio para diferentes relações água/aglomerante

O tratamento superficial com endurecedor cimentício com agregado mineral foi o que apresentou maior diferença de resultados entre os dois métodos. Avaliando-se através do método da CIENTEC, os resultados apresentados para o tratamento superficial nas dosagens de  $4 \text{ kg/m}^2$  e  $8 \text{ kg/m}^2$  não apresentaram desempenho superior ao concreto sem tratamento, ao contrário, apresentaram um desgaste maior que a referência na ordem de 15% a 13%, respectivamente, índice semelhante ao concreto com relação a/agl de 0,75. Somente o concreto tratado com  $12 \text{ kg/m}^2$  do material apresentou um aumento da resistência à abrasão de 20%. Já os ensaios feitos pela NBR 12042 mostraram um menor desgaste à abrasão em todos os concretos tratados da ordem de 41% a 58%, sendo que o menor índice de desgaste ocorreu com  $8 \text{ kg/m}^2$ . Os índices de desgaste, pelo método da ANBT, dos corpos-de-prova tratados com agregado mineral também foram menores que o concreto com relação água/aglomerante de 0,45, conforme tabela 18 e figura 57.

Tabela 18: comparativo de desgaste entre diferentes dosagens de endurecedor com agregado mineral

CP	Endurecedor com agregado mineral (kg/m <sup>2</sup> )					
	CIENTEC (500m)			NBR 12.042 (1000m)		
	4	8	12	4	8	12
1	4,50 mm	4,53 mm	3,14 mm	1,50 mm	1,20 mm	1,10 mm
2	4,95 mm	4,61 mm	3,19 mm	1,50 mm	0,90 mm	1,40 mm
3	5,00 mm	4,74 mm	3,20 mm			
4	5,05 mm	5,26 mm	4,05 mm			
<b>Média</b>	4,88 mm	4,79 mm	3,40 mm	1,50 mm	1,05 mm	1,25 mm
<b>Variação</b>	10,89%	13,88%	22,47%	0,00%	33,33%	21,43%

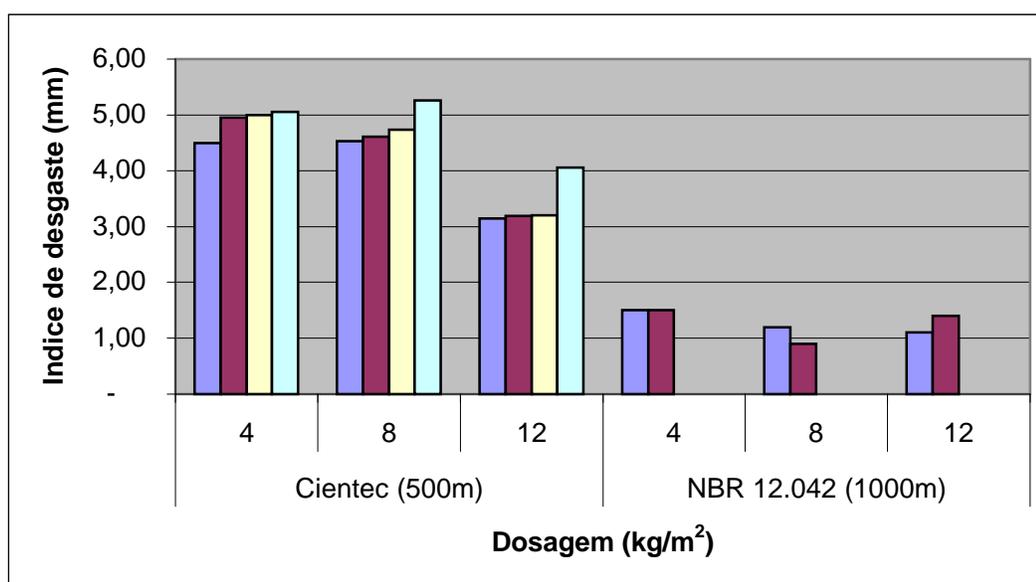


Figura 57: desgaste comparativo do endurecedor cimentício com agregado mineral por método de ensaio

O endurecedor cimentício com agregado mineral apresentou resultados inconsistentes em ambas metodologias. Embora no ensaio da CIENTEC ele apresente uma redução do desgaste à abrasão com o aumento da dosagem do material, esta redução só foi significativa na dosagem de 12 kg/m<sup>2</sup>.

Conclui-se que a redução do desgaste por abrasão com endurecedor cimentício é afetada por outras variáveis neste experimento, mas é possível afirmar que existe uma redução do desgaste à abrasão com a utilização do material, porém esta conclusão é restrita para os materiais utilizados, devendo ser realizado um maior número de ensaios para verificar se a tendência observada se confirma.

No comparativo dos métodos de ensaios com endurecedor com agregado metálico mostrou que em ambos estes exemplares tiveram o menor resultado de abrasão, conforme os dados da tabela 19.

Tabela 19: comparativo de desgaste entre diferentes dosagens de endurecedor com agregado metálico

Amostras	Agregado metálico(kg/m <sup>3</sup> )					
	CIENTEC (500m)			NBR 12.042 (1000m)		
	4	8	12	4	8	12
<b>1</b>	1,24 mm	1,26 mm	0,70 mm	2,00 mm	1,50 mm	0,90 mm
<b>2</b>	1,52 mm	1,28 mm	1,11 mm	1,70 mm	1,10 mm	0,80 mm
<b>3</b>	1,58 mm	1,34 mm	1,15 mm			
<b>4</b>	1,60 mm	1,44 mm	1,30 mm			
<b>Média</b>	1,49 mm	1,33 mm	1,07 mm	1,85 mm	1,30 mm	0,85 mm
<b>Variação</b>	22,50%	12,50%	46,15%	17,65%	36,36%	12,50%

Outro fato ocorrido é que os resultados apresentaram variações entre o maior e o menor valores superiores aos do concreto sem tratamento ou com o tratamento com endurecedor composto com agregado mineral. Isto, em parte, é verdade porque como os valores de desgaste são muitos menores, quando comparados com os ensaios anteriores, a diferença vai se mostrar muito maior em termos percentuais. Porém, em valores absolutos, o desgaste é muito menor, como pode ser visualizado na figura 58.

Mesmo assim, também para o caso do tratamento com endurecedor composto com agregado metálico, não é possível estabelecer uma relação entre os resultados dos dois métodos de ensaio.

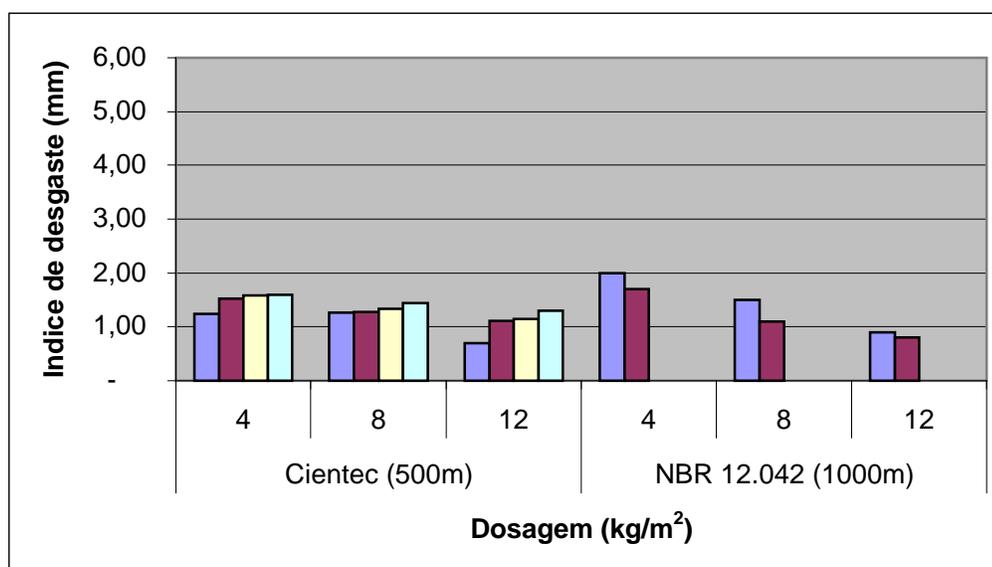


Figura 58: desgaste comparativo do endurecedor cimentício com agregado metálico por método de ensaio

### 3.6.3 Comparativo de endurecedores cimentícios

A melhoria no desempenho à abrasão do concreto com a utilização de endurecedores cimentícios com agregados minerais só foi observada no método da NBR 12.042 (ABNT, 1992), enquanto no método da CIENTEC esta relação não apareceu. Esta melhoria, no entanto, não ocorreu de forma proporcional com o aumento da dosagem do produto em ambos os métodos.

A utilização de endurecedor cimentício com agregado metálico mostrou que houve uma melhoria no desempenho à abrasão do concreto. Esta melhoria ocorreu de forma proporcional com o aumento da dosagem do produto.

O uso de endurecedor cimentício com agregado metálico mostrou-se mais eficiente nos dois métodos realizados. Através do método da CIENTEC, os índices de desgaste foram de 64% a 75% menores quando comparados com o concreto com a mesma relação água/aglomerante, e manteve esta vantagem muito próxima quando comparado ao concreto com relação água/aglomerante de 0,45, com índices de 62% a 73% menores, conforme indicam a tabela 20 e a figura 59

Já o ensaio pela NBR 12042, essa redução variou de 27% a 66% para o concreto de referência e também manteve a mesma vantagem com índices de 24% a 54% para o concreto com relação água/aglomerante de 0,45, conforme tabela 21 e figura 60.

Tabela 20: comparativo de desgaste entre concreto com endurecedor com agregado mineral e metálico e sem tratamento pelo procedimento da CIENTEC

CIENTEC	Rel a/aglo	Agregado mineral (kg/m <sup>2</sup> )				Agregado metálico(kg/m <sup>2</sup> )		
		CP	0,6	4	8	12	4	8
500m	1	3,82 mm	4,50 mm	4,53 mm	3,14 mm	1,24 mm	1,26 mm	0,70 mm
	2	4,25 mm	4,95 mm	4,61 mm	3,19 mm	1,52 mm	1,28 mm	1,11 mm
	3	4,41 mm	5,00 mm	4,74 mm	3,20 mm	1,58 mm	1,34 mm	1,15 mm
	4	4,42 mm	5,05 mm	5,26 mm	4,05 mm	1,60 mm	1,44 mm	1,30 mm
<b>Média</b>		4,23 mm	4,88 mm	4,79 mm	3,40 mm	1,49 mm	1,33 mm	1,07 mm

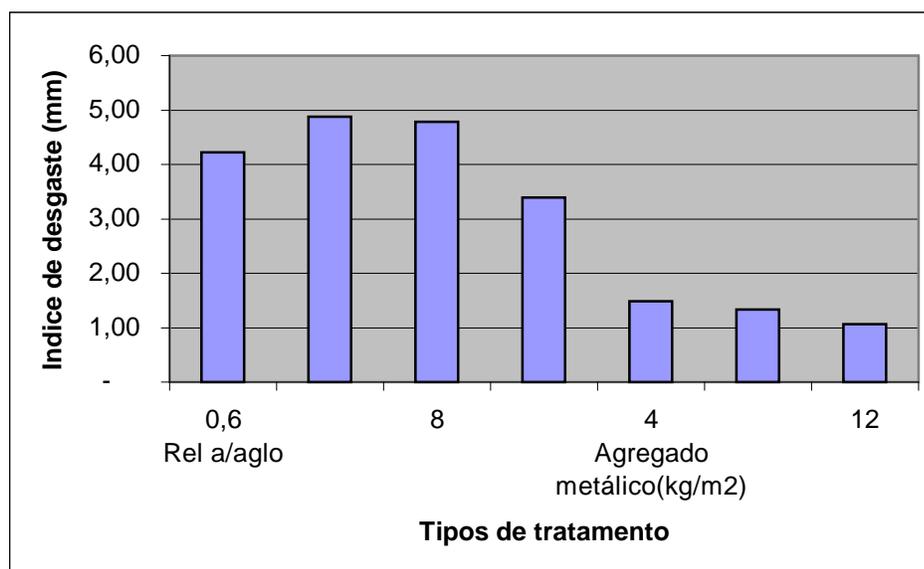


Figura 59: desgaste à abrasão dos tratamentos e do valor de referência, pelo procedimento da CIENTEC

Tabela 21: comparativo de desgaste entre concreto com endurecedor com agregado mineral e metálico e sem tratamento pela NBR 12.042 (ABNT, 1992)

NBR 12.042	Rel a/aglo	Agregado mineral(kg/m <sup>2</sup> )				Agregado metálico (kg/m <sup>2</sup> )		
		CP	0,60	4	8	12	4	8
1000m	1	2,20 mm	1,50 mm	1,20 mm	1,10 mm	2,00 mm	1,50 mm	0,90 mm
	2	2,90 mm	1,50 mm	0,90 mm	1,40 mm	1,70 mm	1,10 mm	0,80 mm
<b>Média 1000m</b>		2,55 mm	1,50 mm	1,05 mm	1,25 mm	1,85 mm	1,30 mm	0,85 mm

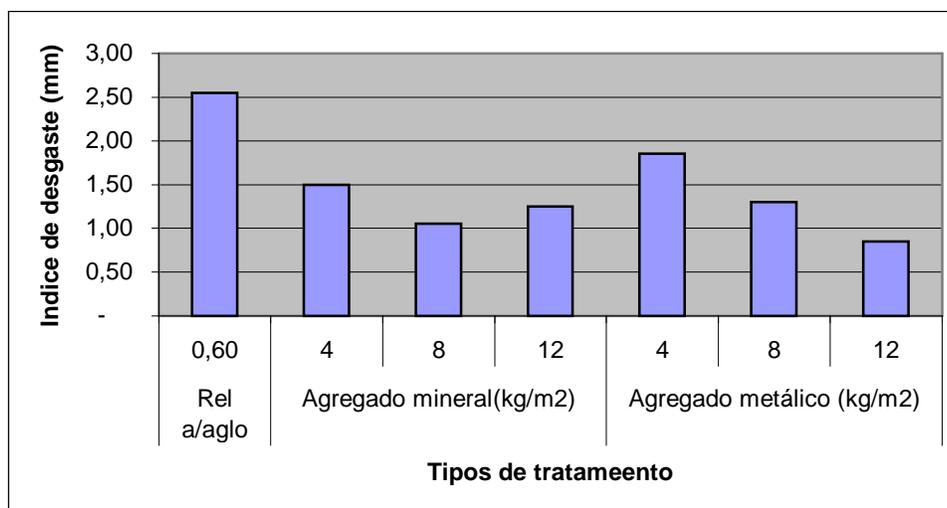


Figura 60: desgaste à abrasão dos tratamentos e do valor de referência, pelo método da NBR 12.042 (ABNT, 1992)

### 3.6.4 Comparativo custo x desempenho

Os custos foram comparados a partir de tomada de preços com o fornecedor de concreto, para os traços estudados, conforme é apresentado na tabela 22. Os preços de endurecedores cimentícios foram tomados com o fabricante, como referência para entrega em Porto Alegre, conforme tabela 23. Os preços tomaram por base o mês de outubro de 2003.

Os valores apresentados na tabela 24 e na figura 62 são referentes a uma solução de 12 cm de concreto e o tratamento superficial. Não foram considerados os custos dos demais materiais envolvidos no piso, assim como a mão-de-obra de execução.

Tabela 22: preços de venda do concreto

Custos do concreto	
Relação a/aglomerante	R\$/m <sup>3</sup>
0,75	180,00
0,60	240,00
0,45	320,00

Tabela 23: preço de venda dos endurecedores cimentícios

Custos dos endurecedores cimentícios				Total
Endurecedor	R\$ / kg	IPI	frete	(R\$/kg)
com agregado mineral	0,62	10%	5%	0,72
com agregado metálico	4,70	4%	5%	5,13

Tabela 24: Custos comparativos das soluções

Soluções	Custo (R\$/m <sup>2</sup> )			Total
	Concreto	Endurecedor cimentício		
		Ag mineral	Ag metálico	
a/aglo 0,75	21,60			21,6
a/aglo 0,60	28,80			28,8
a/aglo 0,45	38,40			38,4
4 kg ag mineral	28,80	2,86		31,7
8 kg ag mineral	28,80	5,73		34,5
12 kg ag mineral	28,80	8,59		37,4
4 kg ag metálico	28,80		20,52	49,3
8 kg ag metálico	28,80		41,04	69,8
12 kg ag metálico	28,80		61,56	90,4

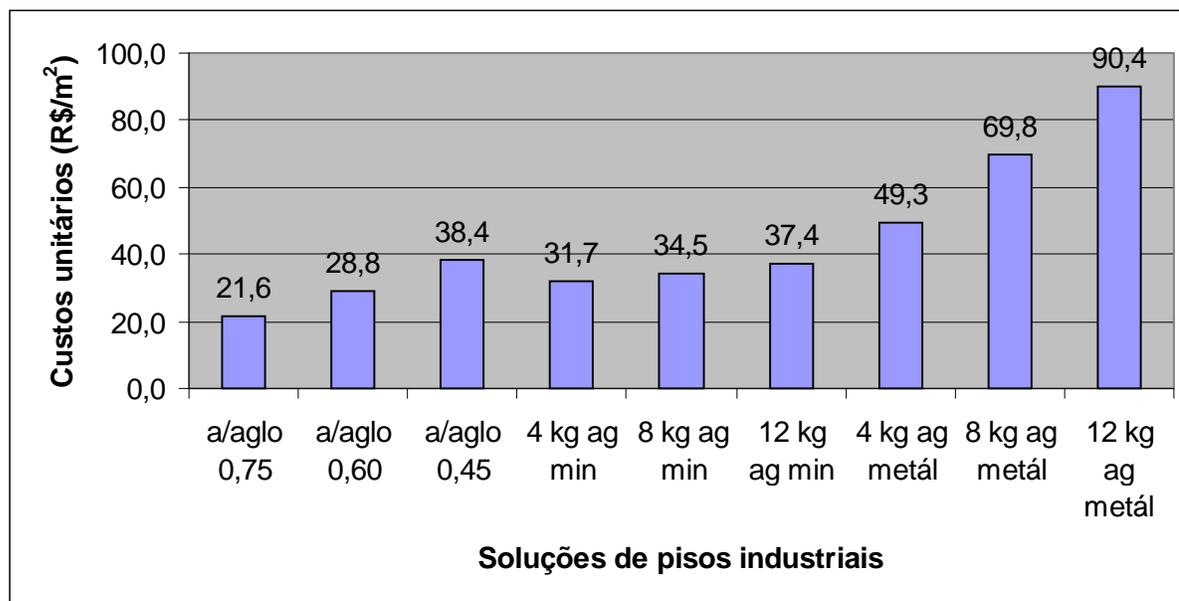


Figura 61: custos unitários de cada solução

O custo unitário dos materiais deve levar em conta a redução do desgaste por abrasão promovida pela solução adotada. Tendo em vista esta análise, procurou-se estabelecer uma relação custo/benefício para cada solução.

Para esta avaliação foram estabelecidos índices relativos e absolutos para os custos de materiais das soluções já determinadas e também para os índices de desgaste médios de cada solução em cada ensaio. Sendo o índice relativo, o comparativo dos demais índices dentro do mesmo grupo, no caso cada grupo tem uma referência, sendo a relação água/aglomerante 0,60 para os concretos sem tratamento, e a dosagem de 4 kg/m<sup>2</sup>, para os concretos tratados dentro de cada tipo de endurecedor. O índice absoluto é dado através da divisão do valor do item a ser comparado pelo valor de referência, no caso a relação água/aglomerante 0,60 em cada situação.

**Equação 1:** Índice<sub>relativo</sub> =  $I_n / I_{PG}$

Sendo:

$I_n$  o índice a que se quer comparar;

$I_{PG}$  o índice padrão do grupo.

**Equação 2:** Índice<sub>absoluto</sub> =  $I_n / I_{0,6}$

Sendo:

$I_n$  o índice a que se quer comparar;

$I_{PG}$  o índice referente a relação água/aglomerante 0,60.

Tabela 25: relação custo benefício de cada solução

Soluções adotadas	Índice de Custos			Índices de desgaste (CIENTEC)			Índices de desgaste (NBR 12.042)		
	(R\$/m <sup>2</sup> )	Relativo	Absoluto	(mm)	Relativo	Absoluto	(mm)	Relativo	Absoluto
a/aglo 0,75	21,6	0,75	0,75	4,77	1,13	1,13	2,80	1,10	1,10
a/aglo 0,60	28,8	1,00	1,00	4,23	1,00	1,00	2,55	1,00	1,00
a/aglo 0,45	38,4	1,33	1,33	3,96	0,94	0,94	2,45	0,96	0,96
4 kg ag mineral	31,7	1,00	1,10	4,88	1,00	1,15	1,50	1,00	0,59
8 kg ag mineral	34,5	1,09	1,20	4,79	0,98	1,13	1,05	0,70	0,41
12 kg ag mineral	37,4	1,18	1,30	3,40	0,70	0,80	1,25	0,83	0,49
4 kg ag metálico	49,3	1,00	1,71	1,49	1,00	0,35	1,85	1,00	0,73
8 kg ag metálico	69,8	1,42	2,43	1,33	0,89	0,31	1,30	0,70	0,51
12 kg ag metálico	90,4	1,83	3,14	1,07	0,72	0,25	0,85	0,46	0,33

#### 3.6.4.1 Grupo de concreto sem tratamento

Analisando-se os resultados obtidos através dos índices de custos, observa-se que a solução com relação água/aglomerante 0,75 representa um custo 25% menor que a solução referência

com relação água/aglomerante 0,60, enquanto que os índices de desgaste apresentaram um aumento entre 10% e 13%.

Já a redução da relação água/aglomerante de 0,60 para 0,45 representou um incremento de custo de 33% enquanto o desgaste representou uma redução entre 4% e 6%.

#### 3.6.4.2 Grupo tratado com endurecedor cimentício com agregado mineral

Neste tratamento, os custos, coincidentemente, representaram parcelas de incrementos de 10% para cada 4 kg/m<sup>2</sup> de material utilizado. Enquanto os índices de desgaste foram prejudicados devido à variação dos resultados já comentados, pode-se observar que os resultados não seguem uma tendência quando comparando-se os dois métodos.

Pelo método da CIENTEC, os índices de desgaste relativos ocorridos entre as dosagens de 4 kg/m<sup>2</sup> e 8 kg/m<sup>2</sup> são praticamente os mesmos enquanto os custos tem uma diferença de apenas 10%. O que, teoricamente, indicaria que o aumento da dosagem seria desnecessário, pois só aumentaria o custo da solução. Porém quando comparados com o índice absoluto é evidente um aumento de 13% a 15% nos índices de desgaste, o que não seria esperado.

Quando o comparativo é realizado através dos índices do método da NBR 12.042 (ABNT, 1992) é possível observar uma redução significativa dos índices de desgaste para as mesmas dosagens entre 41% e 59% respectivamente para os mesmos incrementos de custos de 10% e 20%. Este fato torna esta solução uma excelente relação custo/benefício. Na dosagem de 12 kg/m<sup>2</sup>, apesar de representar um incremento de 30% na solução apresentou uma redução de 20% no índice de desgaste da CIENTEC e de 51% pelo método da ABNT.

#### 3.6.4.3 Grupo tratado com endurecedor cimentício com agregado metálico

Este é o tratamento com maior impacto nos custos das soluções. Com apenas 4 kg/m<sup>2</sup> do material, a solução teve um incremento de 71% no custo, e apresentou uma redução no índice de desgaste de 65% pelo método CIENTEC e de 27% pelo método da NBR 12.042 (ABNT, 1992). Já nas dosagens de 8 kg/m<sup>2</sup>, o incremento foi de 143% no custo sobre o concreto de referência com relação água/aglomerante 0,60, porém com reduções da ordem de 69% e 49%

no desgaste à abrasão. Comparando-se com a dosagem reduzida do material o incremento de custo que existe para o aumento da dosagem de  $4 \text{ kg/m}^2$  para  $8 \text{ kg/m}^2$  parte de 71% para 143%, uma diferença de 72% para reduções dos índices de desgaste relativo de 11%, pela CIENTEC e 30%, pela NBR 12.042 (ABNT 1992). Já na solução com  $12 \text{ kg/m}^2$  a diferença para a dosagem de  $4 \text{ kg/m}^2$  é ainda mais distante, pois o custo sai de um incremento de 71%, pela CIENTEC para 214% pela NBR12.042 (ABNT, 1992) e proporciona uma redução de desgaste entre 28% e 54%. Se a viabilidade de cada solução for analisada apenas pelo efeito de redução do desgaste à abrasão as soluções que contemplam  $8 \text{ kg/m}^2$  e  $12 \text{ kg/m}^2$  não se mostram viáveis para aplicação pois o incremento de custo que proporcionam é muito maior do que a redução do desgaste.

## 4 CONCLUSÃO

Considerando os crescentes estudos que se desenvolvem em vários centros de pesquisa sobre durabilidade das estruturas, o estudo de abrasão em piso industrial de concreto se mostra atual neste contexto. Em contrapartida, são raros os estudos recentes sobre este assunto. Em parte, por não implicar em risco de vida para o usuário deste tipo de estrutura. Sendo que o baixo desempenho do piso de concreto frente à abrasão muitas vezes é considerado um problema localizado. Os resultados deste trabalho ficam limitados aos materiais utilizados e evidenciam apenas tendências de comportamento das soluções, devido ao baixo número de corpos-de-prova utilizados para análise de resultados.

Cabe salientar aqui as dificuldades encontradas na execução do experimento. Como optou-se por utilizar um modelo mais próximo a realidade, moldando-se placas de grandes dimensões, foi necessário mobilizar um grande número de pessoas para a produção, lançamento do concreto e o seu posterior adensamento. Como todas as placas foram moldadas no mesmo dia, foi necessário que as operações de acabamento da superfície e incorporação do endurecedor cimentício ocorressem no momento adequando e muitas vezes simultâneas. Além disso, as operações de acabamento com máquina exigiram pessoal habilitado e familiarizado com o esse tipo de trabalho. Por fim, o corte das placas para a extração dos corpos-de-prova também exigiu grande esforço logístico devido ao peso a ser transportado e a necessidade de equipamento especial para o corte.

### 4.1 CONCRETOS SEM TRATAMENTO

Observando-se os valores de resistência à compressão simples atingida pelas respectivas relações água/aglomerante, a resistência à compressão aumenta de 22,3 MPa para 44 MPa, isto significa um incremento de praticamente 100%. Enquanto que o desgaste por abrasão foi reduzido em 17% pela análise dos resultados da CIENTEC, e em apenas 12,5% segundo os resultados da NBR 12.042 (ABNT, 1992). O que mostra que este tipo de solução não traz um benefício para os projetos de pisos industriais quanto à resistência ao desgaste por abrasão pelo incremento de custo que proporciona.

## 4.2 ENDURECEDOR CIMENTÍCIO COM AGREGADO MINERAL

A melhora da resistência à abrasão ocorreu de forma mais expressiva através do tratamento superficial. Este melhor desempenho dos tratamentos foi observado no tratamento com endurecedor com agregado mineral ou com metálico

O procedimento de abrasão da CIENTEC mostrou-se mais abrasivo que o procedimento da NBR 12042 (1992). Esta diferença mostrou-se mais evidente nos ensaios com agregado mineral nas dosagens de  $4\text{kg/m}^2$  e  $8\text{kg/m}^2$ , que apresentaram um desgaste maior que o próprio concreto de referência. Esta solução se apresentou com um custo 7,31% menor que um concreto com relação a/aglo 0,45 com um desempenho 14% melhor quando analisado pelo método da CIENTEC, e 49% melhor quando comparado pela NBR 12042 (1994) para este mesmo concreto.

## 4.3 ENDURECEDOR CIMENTÍCIO COM AGREGADO METÁLICO

O agregado metálico se comportou de forma mais regular e menos sujeito ao consumo de água do traço, pela própria origem do produto, uma vez que sua composição é de 100% de agregados metálicos. Assim, mesmo não agindo na redução da relação água/aglomerante superficial, o material se mostrou eficiente o suficiente para suportar do desgaste por abrasão apenas pela suas características físicas.

O endurecedor com agregado metálico mostrou-se uma boa alternativa ao tratamento superficial de pisos industriais pelos baixos índices de desgaste apresentados. Mesmo no ensaio à abrasão da CIENTEC, que mostrou-se mais abrasivo, para os ensaios de endurecedor com agregado mineral, a característica do endurecedor com agregado metálico mostrou-se mais eficiente. O concreto com alto consumo de água, o que não favorecia o desempenho dos endurecedores pelo princípio da redução da relação água/aglomerante superficial, apresentou melhores índices de desgaste devido a característica do agregado utilizado.

A sua desvantagem está no preço que se mostrou de 1,5 a 2,6 vezes maior que o concreto de referência, porém com índices de desgaste 2,83 a 3,95 vezes menores que o de referência pelo método da CIENTEC e 1,37 a 3 vezes menores pelo método da NBR 12042.

Nesta situação é preciso salientar que além destes custos diretos existem também custos indiretos que influenciam no momento da decisão de que solução de tratamento vai se adotar. Muitas vezes, não é possível refazer o piso para recompor o desgaste ocorrido, pois existem operações de utilização que impedem a parada. Ou ainda os casos em que nem mesmo reparos podem ser escutados por questões de higiene e limpeza. Com este cenário estas soluções de incremento de custos muitas vezes são viabilizadas pela maior durabilidade que vai se proporcionar na superfície do piso. Outro fator que não foi abordado neste trabalho e que interfere no desempenho deste tipo de solução é a sua resistência ao impacto devido à origem do material, o que faz com que o desempenho das soluções tenham mais de um comparativo além do desgaste à abrasão.

#### 4.4 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

No intuito de avaliar de forma mais abrangente o desempenho à abrasão de concretos utilizados em pisos industriais, pode-se desenvolver pesquisas que levem em consideração os seguintes parâmetros:

- a) influência do consumo total de água por  $m^3$  de concreto, independente da característica do agregado miúdo que se utilize no desempenho à abrasão;
- b) o emprego de concretos de alta resistência como camada de cobertura de pisos industriais executados em duas camadas;
- c) determinar a relação custo/benefício para do emprego de concretos de alta resistência, em pisos industriais;
- d) o aumento do número de corpos-de-prova para determinação do desgaste por abrasão para diminuir o efeito da variação do ensaio no resultado final.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7219**: Agregados: Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 10908**: Aditivos para argamassa – Ensaios de uniformidade. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 11801**: argamassa de alta resistência mecânica para pisos. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12042**: determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998

\_\_\_\_\_. **NBR NM 101**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

AITCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000. Cap 17.

ALMEIDA, I.R. Influência da resistência a abrasão do agregado graúdo na resistência a abrasão de concretos de alto desempenho. In: **42 Congresso Brasileiro do Concreto**, Fortaleza/CE, agosto/2000.

ALMEIDA, I.R., GONCALVES, A.F.; VIEIRA, M. Concreto com cinzas volantes para pavimentação: Estudo da resistência a abrasão e da influencia da cura úmida na durabilidade. . In: 2º Fórum Interamericano de Pavimentos de Concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland, Rio de Janeiro: agosto de 1999. **Anais**, p.239-251.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 117 – Standart Specifications for tolerances for Concrete Construction and Materials**. ACI Committee 117, Michigan/USA, 1990.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 302.1R-96 – Guide for Concret Floor and Slab Construction**. ACI Committee 302, Michigan/USA, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM E 1155 –Standart Test Method for Determining  $F_F$  Floor Flatness and  $F_L$  Floor Levelness**. Pennsylvania, USA, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 779a – Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surface**. Pennsylvania, USA, 1989.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 131 – Test Method for Resistance of small-size coarse aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine** Pennsylvania, USA, 1996.

BATTAGIN, A.F., CURTI, R., SILVA, C.O., MUNHOZ, F.A.C. Influência das condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho. Belo Horizonte, MG 2002 In: **REIBRAC**, 44°, 17 a 22 ago, 2002.

BAUER, R.J.F., CURTI, R., MARTINS, A., TAKASHIMA, S. Estudo de característica física e mecânica do concreto pelo efeito de vários tipos de cura. Salvador, BA 1999 In: **REIBRAC**, 41, ago, 1999.

BAUER, R.J.F., PAULON, V.A, TOKUDOME, S., SANTOS, F.B. Influência dos endurecedores de superfície sobre a resistência ao desgaste por abrasão. Belo Horizonte, MG 2002 In: **REIBRAC**, 44, 17 a 22 ago, 2002.

BINA, P., CASTRO, P.R., COELHO, S. Pisos industriais construídos com concreto de alto desempenho e dosado com fibras. Análise de desempenho após uso intenso. São Paulo, 1997. v.2, p. 499-504. In: **REIBRAC**, 39, 5 a 8 ago.. 1997.

BINA, P., CASTRO, P.R., TEIXIERA, A.O.F. Estado da arte dos pisos industriais e pavimentos: do sistema de damas ao protendido. Belo Horizonte, MG 2002 In: **REIBRAC**, 44, 17 a 22 ago, 2002.

ESTEFANI, C. – A inserção de pisos de alto desempenho no processo de produção de pisos industriais. Juiz de Fora, 2000, v. 2, p. 733-744. In: **Congresso de Engenharia Civil**, Juiz de Fora (MG), 2000.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

GONÇALVES, J.R., ALMEIDA, I.R., SHEHATA, L.C.D. Influência do tipo de agregado graúdo nas propriedades do concreto de alta resistência. Porto Alegre, RS. 1997, v.2, p. 339-352. In: **REIBRAC**, 36, 19 a 23 set. 1996.

HELENE, P.R.L., TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: 1992.

JÚNIOR, N.O.P.; BINA, P. Pisos industriais construídos com concreto dosado com fibras. Ribeirão Preto (SP), 1996, v.1, p. 63-78. In: **REIBRAC**, 38, 19 a 23 ago. 1996.

KREMPEL, A.F. *et al.* Pisos de alta resistência – execução e proteção. Porto Alegre, RS. 1994. In: **REIBRAC**, 36 ,19 a 23 set. 1994.

LIBÓRIO, J.B.L., SILVA, I.J., MELO, A.B. Alguns cuidados a serem observados na execução de pisos industriais e elementos estruturais de edifícios em concreto de alto desempenho. São Paulo (SP). 1997. v. 2, p 483-497. In: **REIBRAC**, 39,5 a 8 ago. 1997.

LIU, T. C., Abrasion Resistance of Concrete. **Journal of the American Concrete Institute**, p 341-350, September/October,1981.

METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994, cap 5.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2000, cap 10.

ORCHARD, D.F. **Properties of Materials**. Concrete Technology, London, The Concrete Lybrary, 1962

PICCOLI, G.M., SILVA, P.L.F., TOMASELLI, C.A. Pisos de concreto de alto desempenho – Tecnologia de crescente aplicação. São Paulo (SP.) 1997, v. 2, p. 469-482. In **REIBRAC**, 39, 5 a 8 ago, 1997.

RODRIGUES, P.P.F.; CASSARO, C.F. **Pisos Industriais de concreto armado**, São Paulo,1998 (Apostila).

SCRIPTURE, E. W., JR W. BENEDICT, BRYANT D. E. Floor Aggregates. **Journal of the American Concrete Institute**, v.25, n. 4,1953.

SEXEC/INFOHAB **Piso Industrial de alta resistência: especificação de serviço**. Niterói (RJ) 2000, 2p, Disponível em [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br). Consultado em 19/05/2003.

WOODS, H. Durability of Concrete Construction, **ACI Monograph**, nº 4, ACI, Detroit, MI, 1968.