

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE JUNTAS DE CCR
COM ALTO TEOR DE FINOS**

Maurice Antoine Traboulsi

Dissertação de Mestrado

**Porto Alegre
2007**

MAURICE ANTOINE TRABOULSI

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE JUNTAS DE CCR
COM ALTO TEOR DE FINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientadores:

Prof. Dr. José Marques Filho

**Prof. Dr^a. Denise Coitinho Carpena Dal
Molin**

Porto Alegre

Julho 2007

T758a Traboulsi, Maurice Antoine

Análise do comportamento de juntas de CCR com alto teor de finos / Traboulsi, Maurice Antoine. – 2007

171f.: il., color., enc.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia Civil, 2007.

Orientação : Prof. José Marques Filho

Prof^a. Denise Coitinho Carpena Dal Molin

1. Concreto – Concreto compactado com rolo (CCR). 2. CCR – Avaliação de Juntas 3. CCR – alto teor de finos. 4. Engenharia civil. orient I. Filho, José Marques, orient. II . Dal Molin, Denise Carpena Coitinho. Título.

CDU: 666.97.033.3

MAURICE ANTOINE TRABOULSI

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE JUNTAS DE CCR COM
ALTO TEOR DE FINOS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelos professores orientadores
e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 09 de julho de 2007

Denise Carpena Coitinho Dal Molin & José Marques Filho
Dr.^a. pela USP & Dr. pela UFRGS
Orientadores

Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Vladimir Antonio Paulon (UNICAMP)
Dr. pela USP

Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Rejane Maria Candiota Tubino (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Walton Pacelli de Andrade (ENGECONSOL)
Examinador convidado

Aos meus pais, Antoine e
Georgette, que me ensinaram o
valor da vida.

À minha esposa Carla,
companheira, amiga, exemplo de
mulher e de mãe.

Aos meus filhos Lucca e
Gabriella, que são o meu bem
maior.

AGRADECIMENTOS

Aos ilustres professores, dignos doutores, e principalmente cativos amigos, Dr. José Marques e Dr^a Denise Dal Molin, gostaria de enfatizar os meus sinceros agradecimentos. Quero ressaltar a excelência na orientação sempre motivadora, a significativa amizade cultivada ao longo destes anos de trabalho e aprendizado. Vocês, meus “orientadores” foram os principais estimuladores e motivadores, para a concretização deste trabalho. Deixo consignado meu muito obrigado.

Ao mestre Dr. Paulon, profissional reconhecido internacionalmente, a quem tive o privilégio de conviver, aprender, aclamar e principalmente chamar de amigo. Agradeço pelo “convite”, pela confiança a mim designada e pelo respeito sincero, me curvo em agradecimentos.

Ao homem que me ensinou os valores da vida, Dr. Walton Pacelli, serei eternamente grato por seus ensinamentos, na área técnica, mas inequivocadamente maiores os valores humanos, nestes 16 anos de convivência. Um profissional de competência reconhecida mundialmente, que generosamente não poupou esforços para transmitir a sua vasta experiência nas ciências da engenharia de barragens, e de vida. Amigo Pacelli tenho, certeza que através da sua influência na minha vida profissional é que trilhei meus caminhos na engenharia. Sinto-me honrado por ter desfrutado da convivência profissional diária nos anos em que o chamei de “chefe”.

A UFRGS e seu corpo docente, professores, Denise Dal Molin, Ângela Masuero Campagnolo, Luis Carlos, Nilo Consoli, João Luis Calmon (UFSC), José Luis Ribeiro, André Geyer (UFG), Paulo Monteiro (Berkley), Romildo Toledo (COPPE), Eduardo Fairbairn (COPPE), Paulon (UNICAMP), dignifico as aulas ministradas.

Reconheço o fundamental incentivo da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, que patrocinou este projeto de P&D – ciclo 2000/2001 – “Avaliação da Aderência Entre Camadas de CCR em Pistas Experimentais Confeccionadas em Laboratório”.

Ao Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS Centrais Elétricas, “minha morada”, pois ali finquei raízes, obrigado por terem me oportunizado a viabilização

deste trabalho, pois nele pude realizar todos os ensaios do programa experimental desta pesquisa.

Aos meus colegas, técnicos do Laboratório de Concreto de FURNAS (blocos 05, 06, 07, 08 e 22), lhes serei sempre grato, pela lealdade e dedicação na realização dos ensaios. Sei que todos não mediram esforços para a confecção dos maciços experimentais (durante as madrugadas goianas).

Em especial referendo os técnicos, Edson de Alcântara da Cruz, Jesus Antônio da Silveira e o Ratão (rato velho) pela dedicação e responsabilidade durante a extração dos testemunhos.

Aos meus pares, engenheiros de FURNAS, Gambale, Sérgio Botassi, Elizabeth Leopoldina, Anne Neiry, Flávio de Lima, Ziza, Alfredo, Nicole e José Francisco Farage, minha gratidão pela boa vontade, atenção e contribuições, pois sei que deram sempre o de melhor quando solicitados.

Aos engenheiros, Marco Aurélio e Cláudio (Chumbinho), minha atenção especial pela dedicação e competência durante a operação do simulador de compactação (rolo compactador), ferramenta fundamental nesta pesquisa.

Aos inestimáveis amigos, Adão Rodrigues, Joilson José Inácio e Élcio Antonio Guerra, que nas horas mais difíceis estiveram presentes, principalmente na finalização desta pesquisa quando compreenderam a necessidade em me substituir nas funções diárias, de forma eficiente.

Aos companheiros Ricardo Barbosa, Alexandre Pereira, Reynaldo Machado Bittencourt e Flávio Mamede pelas grandes contribuições durante a elaboração desta dissertação e nas análises dos resultados.

Às colegas de trabalho Luciana dos Anjos e Juliana Simas Ribeiro, pela amizade, companheirismo, disponibilidade, sugestões, contribuições, e principalmente pelo constante apoio. Muito obrigado.

Aos estagiários e amigos Diogo e Thyago Quirino, pela grande ajuda no levantamento e tabulação dos dados.

Ao amigo e colega de trabalho Aloisio Miranda, pela disponibilidade, eficiência e dedicação na formatação final desta dissertação, pois, a sua ajuda foi de fundamental importância.

De forma especial agradeço aos engenheiros, Rubens Machado Bittencourt e Moacir Alexandre (Xim), pela amizade, incentivo, motivação e compreensão, me apoiando constantemente, para a concretização e desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus pais, Antoine e Georgette, que em momento algum abaixaram a cabeça e nunca deixaram de me apoiar mesmo com todas as dificuldades financeiras enfrentadas na época da minha graduação.

À minha esposa Carla e meus filhos Lucca e Gabriella, agradeço a compreensão pelo fato de ter lhes roubado o tempo de convivência familiar, pois sem seu apoio incondicional não seria possível a concretização deste trabalho.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao nosso saudoso Guilherme Leroy, pelas suas contribuições ao meio técnico e pelo desenvolvimento de vários dispositivos que auxiliaram no desenvolvimento desta e de muitas outras pesquisas.

À DEUS, por permitir que eu conclua mais uma etapa na minha vida, pelas grandes amizades que aprendi a cultivar, pela grande e maravilhosa família que tenho.

A todas as pessoas que conviveram e que convivem comigo, os meus mais sinceros agradecimentos.

Maurice

RESUMO

TRABOULSI, M.A. **Análise do Comportamento de Juntas de CCR com Alto Teor de Finos**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

A tecnologia do concreto compactado com rolo tem se desenvolvido e transformado o cenário das construções de barragens, modernizando os conceitos sobre os processos construtivos, além de se mostrar uma técnica competitiva em comparação com os métodos já consagrados de construção de Barragens de terra, enrocamento e enrocamento com face de concreto.

Até a década de 70 era usual o lançamento de um elemento de ligação entre camadas de concreto. Nesta época, estudos realizados pelo U.S. Bureau of Reclamation e U.S. Army Corps of Engineers mostraram que a sua utilização era desnecessária, desde que as juntas fossem cuidadosa e adequadamente preparadas. A construção da barragem de Willow Creek, com CCR sem nenhuma especificação de um elemento de ligação entre as camadas de concretagem, acabou resultando num alto nível de percolação de água. Devido a este fato, os grandes projetistas de estruturas hidráulicas e de barragens passaram a adotar um concreto de berço, lançado entre as camadas de CCR, abrangendo entre 30 % da seção superficial da junta, a partir do paramento de montante, até toda a camada.

Neste projeto de pesquisa foi proposta a execução de maciços experimentais em laboratório, os quais simulam uma pequena fatia de uma barragem de CCR. Para simular o lançamento e adensamento do concreto destes maciços utilizou-se um equipamento existente no Laboratório de Concreto de FURNAS Centrais Elétricas S.A., localizado em Goiânia-GO. Foram confeccionados 11 maciços experimentais, nos quais foram realizadas avaliações referentes ao intervalo de lançamento entre camadas de concreto compactado com rolo, variando-se o tempo de exposição, a temperatura ambiente de lançamento, o tipo de tratamento da junta e a utilização de argamassa de ligação, ou seja, procurou-se avaliar o grau de maturidade das juntas, a partir do qual são necessárias providências para promover uma adequada aderência entre camadas e mostrar a importância da confecção prévia de maciços experimentais em laboratório para auxiliar a tomada de decisão durante a elaboração do projeto.

Palavras-Chave

CCR – Camada – Junta – Aderência – Maciço – Intervalo – Temperatura

ABSTRACT

TRABOULSI, M.A. **Behavior of RCC Joints with High Powder Content.** Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

The roller compacted concrete technology has been increasable developed and, consequently, modified the dam constructions procedures, leading to improved concepts about the construction processes, besides presenting technical competitively when compared to earth, rockfill and concrete faced rockfill gravity dams construction methodology.

The use of a bonding element (concrete or mortar), between concrete layers was common in the 70's. At that time, studies conducted by the U.S. Bureau of Reclamation and the U.S. Army Corps of Engineers showed that this technique was unnecessary in traditional dam constructions for the cases of well and strictly prepared joints. The Willow Creek dam construction, using RCC without any specification about bonding element between layers, presented a high level of percolation. Since that, great hydraulic structures designers adopted a bed of small aggregate concrete, placed between RCC layers in about 30% of the superficial section of joint from the upstream face.

To the herein research it was proposed the execution of experimental laboratory bulks simulating a small part of a RCC dam. For the simulation of placing and compaction of concrete it was used the equipment owned by FURNAS CENTRAIS ELETRICAS S.A., at the laboratory of Goiania, Brazil.

Eleven experimental bulks were produced, in which were assessed the exposure of RCC layers in different time delays and temperatures, varying the layer concrete surface treatment and the use of mortar between layers in order to evaluate the maturity degree of joints and to define the procedures to a suitable bonding between layers. The studies show the importance of laboratory test fills during the design phases, as useful tools to help the technical decision processes.

Keywords

RCC – layer – joint – bonding – bulk - time delay - temperature

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	24
1.3. OBJETIVOS.....	25
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	26
2. O CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)	27
2.1. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL	27
2.2. HISTÓRICO.....	29
2.3. PROCESSO CONSTRUTIVO.....	38
2.3.1. Fabricação	39
2.3.2. Transporte	42
2.3.3. Lançamento	43
2.3.3.1. Método Tradicional	43
2.3.3.2. Método Rampado	44
2.3.4. Adensamento	48
2.3.5. Cura	50
2.4. APLICAÇÕES EM APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS	52
2.5. APLICAÇÕES EM PAVIMENTOS.....	53
2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CCR.....	56
2.6.1. Razões ou Vantagens do Uso de CCR	56
2.6.2. Desvantagens do Uso de CCR	57
3. CONCRETO COMPACTADO COM ROLO COMO MATERIAL PARA PESQUISAS EM LABORATÓRIO	58
3.1. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO.....	59
3.1.1. Estabilidade ao Tombamento	59
3.1.2. Estabilidade ao Deslizamento	60
3.2. JUNTAS	61
3.2.1. Requisitos Típicos para Tratamento de Juntas de Construção	62
3.2.2. Métodos para Tratamento de Juntas de Construção	63
3.2.3. Ligação Entre Camadas Sucessivas de CCR	65
3.3. MACIÇOS EXPERIMENTAIS	71
3.3.1. Vantagens e Objetivos de um Maciço Experimental Confeccionado em Laboratório	72

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	77
4.1. CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA – VARIÁVEIS E CONDIÇÕES FIXAS ..	78
4.1.1. Variáveis	78
4.1.1.1. Intervalo de Lançamento de 0h, 04h, 08h, 12h, 24h, 48h	78
4.1.1.2. Temperatura de Exposição da Junta a 25°C e 45°C.....	78
4.1.1.3. Utilização de Argamassa de Ligação.....	78
4.1.1.4. Tipo de Tratamento da Junta (Jato de Ar Comprimido ou Apicoamento)	79
4.1.1.5. Idade de Ensaio.....	79
4.1.1.6. Tipo de Corpo-de-prova	79
4.1.2. Condições fixas	80
4.1.2.1. Tipo Litológico do Agregado Utilizado	80
4.1.2.2. Tipo de cimento	80
4.1.2.3. Dosagens de CCR e de Argamassa de Ligação.....	80
4.1.2.4. Cannon Time	80
4.1.2.5. Grau de Compactação.....	81
4.1.2.6. Altura de Camada	81
4.1.2.7. Cura	81
4.1.3. Fatores não controláveis	81
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	82
4.2.1. Cimento	82
4.2.2. Agregados Graúdo e Miúdo	83
4.3. DOSAGEM DO CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) E DA ARGAMASSA.....	86
4.4. ENSAIOS ESPECIAIS PARA BARRAGENS DE CCR.....	87
4.4.1. Ensaios Com Concreto Fresco	88
4.4.1.1. Cannon Time e Massa Unitária do CCR Compactado Através do Aparelho de Vebê.....	88
4.4.1.2. Massa Unitária e Teor de Água Unitária Através do Aparelho de DMA.....	90
4.4.1.3. Permeabilidade à Água do Concreto Fresco.....	92
4.4.1.4. Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de CCR	94
4.4.1.5. Determinação da Densidade, Umidade e Água Unitária com o Densímetro Nuclear	96
4.4.2. Ensaios com Concreto Endurecido	98
4.4.2.1. Resistência à Compressão e Massa Específica.....	98
4.4.2.2. Resistência Tração Simples – Dispositivo Leroy	99

4.4.2.3. Resistência à Tração por Compressão Diametral	100
4.4.2.4. Módulo de Elasticidade	102
4.4.2.5. Permeabilidade à Água do Concreto Endurecido.....	103
4.4.2.6. Cisalhamento Direto	105
4.5. PROJETO DE EXPERIMENTOS	108
4.5.1. Resumo dos Maciços Experimentais - Matriz Experimental	110
4.5.2. Ensaios nos Maciços Experimentais	111
4.6. CONFECÇÃO DE MACIÇOS EXPERIMENTAIS DE CCR EM LABORATÓRIO	114
4.6.1. Equipamento para Compactação de CCR em Laboratório	
(Rolo Compactador).....	114
4.6.1.1. Descrição do Equipamento	116
4.6.1.2. Regularização da superfície da camada.....	117
4.6.2. Dispositivo de Cura (Climatizador)	119
4.6.3. Seqüência de Execução dos Maciços Experimentais	120
4.6.4. Extração de Testemunhos	124
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	132
5.1. PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	132
5.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	134
5.2.1. Resistência à compressão e massa específica	134
5.2.2. Resistência à tração simples	136
5.2.3. Resistência à tração por compressão diametral	138
5.2.4. Módulo de Elasticidade	139
5.2.5. Cisalhamento.....	141
5.3. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS JUNTAS	143
5.3.1. Resistência à Tração por Compressão Diametral	145
5.3.1.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h).....	145
5.3.1.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)...	147
5.3.1.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h) ..	149
5.3.1.4. Considerações Gerais	150
5.3.2. Resistência à Tração Simples	151
5.3.2.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h).....	152
5.3.2.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)...	154

5.3.2.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h) ..	156
5.3.2.4. Considerações Gerais	158
5.3.3. Resistência ao Cisalhamento Direto.....	159
5.3.3.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h).....	160
5.3.3.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)...	164
5.3.3.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h) ..	168
5.3.3.4. Considerações Gerais	171
5.3.4. Permeabilidade	173
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	175
6.1. CONCLUSÕES	175
6.1.1. Ensaios de caracterização com concreto endurecido na camada.....	175
6.1.2. Ensaios com concreto endurecido na junta.....	176
6.1.2.1. Resistência à Tração por compressão Diametral.....	176
6.1.2.2. Resistência à Tração Simples	177
6.1.2.3. Resistência ao Cisalhamento Direto	177
6.1.2.4. Permeabilidade à água	178
6.1.3. Conclusões gerais.....	178
6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 :	Caracterização do cimento CP IV-32 utilizado nesta pesquisa.	82
Tabela 4.2 :	Caracterização dos agregados graúdo e miúdo.	83
Tabela 4.3 :	Dados de composição do traço de CCR utilizado.	87
Tabela 4.4 :	Dados de composição do traço da argamassa utilizada	87
Tabela 4.5 :	Variáveis controláveis.	109
Tabela 4.6 :	Resumo dos Maciços Experimentais – Matriz Experimental.	111
Tabela 4.7 :	Quantidade de ensaios realizados com o CCR fresco.	112
Tabela 4.8 :	Quantidade de ensaios realizados com o CCR endurecido – corpos-de-prova moldados.	113
Tabela 4.9 :	Quantidade de ensaios realizados com o CCR endurecido – testemunhos extraídos.	114
Tabela 5.1 :	Propriedades do concreto fresco	133
Tabela 5.2 :	Resistência à compressão e massa específica em corpos-de-prova moldados.	135
Tabela 5.3 :	Resistência à compressão e massa específica em testemunhos extraídos.	135
Tabela 5.4 :	Resistência à tração simples em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos.	137
Tabela 5.5 :	Resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos.	138
Tabela 5.6 :	Módulo de Elasticidade em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos.	139
Tabela 5.7 :	Tensões cisalhantes em corpos-de-prova moldados.	141
Tabela 5.8 :	Valores da coesão, ângulo de atrito e correlação das envoltórias de resistência.	143
Tabela 5.9 :	Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral para os intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	146
Tabela 5.10 :	Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.	148
Tabela 5.11 :	Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.	149
Tabela 5.12 :	Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	152
Tabela 5.13 :	Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.	155

Tabela 5.14 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.....	157
Tabela 5.15 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.....	160
Tabela 5.16 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.....	164
Tabela 5.17 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.....	168
Tabela 5.18 : Permeabilidade do CCR endurecido.....	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 :	Concreto Compactado com Rolo utilizado na construção da barragem do AHE Peixe Angical – TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	28
Figura 2.2 :	Usina de Parnayba (PACELLI DE ANDRADE, 1991).....	31
Figura 2.3 :	Seção transversal da ensecadeira da Barragem de Shimen – Primeira utilização do CCR (PACELLI DE ANDRADE, 1991).....	33
Figura 2.4 :	Primeira concretagem experimental com CCR no Brasil, realizada na usina de Itaipu; (b) Primeira barragem com CCR no Brasil, realizada em Saco de Nova Olinda (MEDEIROS, 2005)	35
Figura 2.5 :	Concreto Compactado com Rolo utilizado na construção da barragem da UHE Dona Francisca (MARQUES FILHO, 2005)	36
Figura 2.6 :	(a) Barragem da UHE de Cana Brava (GO), localizada no Rio Tocantins; (b) Detalhe da UHE Cana Brava (GO) (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	37
Figura 2.7 :	Barragens de CCR concluídas ao final dos anos de 1996 e de 2002 (FARIAS, 2006).....	38
Figura 2.8 :	Exemplo de Central convencional utilizada na construção da UHE Mosquitão-GO	39
Figura 2.9 :	Exemplo de Central gravimétrica de CCR utilizada na construção da UHE Cana Brava – GO	40
Figura 2.10 :	Exemplo de Central de CCR tipo Pug Mill – Utilizada para Dosagem e Mistura do CCR na UHE Capanda - Angola (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	40
Figura 2.11 :	Transporte do CCR em caminhões basculantes. a) Caminhão na praça de lançamento b) Lavagem dos pneus na rampa de acesso AHE Peixe Angical (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	42
Figura 2.12 :	Transporte por correia - Detalhe da Amostragem para Ensaios - AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.)	43
Figura 2.13 :	Lançamento do CCR em camadas horizontais longas (método tradicional) – UHE Cana Brava – GO.....	44
Figura 2.14 :	Método Tradicional - 6 sub-camadas com $h = 0,33$ m (BATISTA et al., 2001)	44
Figura 2.15 :	Método Rampado - Subcamadas contínuas com $h = 0,33$ m (BATISTA et al., 2001)	45
Figura 2.16 :	Camada de CCR executada em rampa; UHE Lajeado - TO.....	45
Figura 2.17 :	Método rampado; Colocação da argamassa de ligação no trecho da camada rampada em contato com a camada anterior; AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A)	46
Figura 2.18 :	Método rampado; Controle da altura da camada, tem como referência as marcas indicativas pintadas na forma - AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.)	47

Figura 2.19 :	(a) Espalhamento do CCR com trator de esteira do tipo D6; (b) nivelamento da camada com o trator de esteira operando de ré; (c) complementação do nivelamento manual da camada – AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.)	47
Figura 2.20 :	(a) Posicionamento da junta de contração; (b) detalhe do trator cobrindo o conjunto lona / placa; (c) espalhamento de CCR na região da junta; (d) retirada da placa - UHE Lajeado – TO (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	48
Figura 2.21 :	(a) Adensamento do CCR. (b) mini rolo compactador – Compactação do CCR próximo ao paramento de montante (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	49
Figura 2.22 :	(a) Detalhe do rolo compactador vibratório autopropelido; (b) detalhe da faixa de compactação; (c) detalhe da sobreposição das faixas numa largura mínima de 30 cm – AHE Peixe Angical – TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	50
Figura 2.23 :	Nebulização do CCR; (a) Processo manual: dispositivos (espingardas ou nebulizadores ligados à rede de ar e água); (b) processo mecânico: trator agrícola com nebulizador acoplado. (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.)	50
Figura 2.24 :	Comparativo da Produtividade entre o método Tradicional e o rampado (BATISTA, 2002).....	51
Figura 2.25 :	Comparativo de Custos entre o método Tradicional e o rampado (BATISTA, 2002).....	51
Figura 2.26 :	Criadouro de camarões na Paraíba: Utiliza CCR como recurso para construção de seus viveiros (ABCP, 2005).....	53
Figura 2.27 :	Concretagem experimental de CCR para camada final de pavimento rodoviário, realizada em FURNAS, Aparecida de Goiânia (GO): (a) lançamento do CCR; (b) compactação do CCR (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).....	55
Figura 3.1 :	Exemplo de croqui: Maciço experimental para UHE Lajeado.....	74
Figura 3.2 :	Pista experimental em obra – UHE Cana Brava – GO	75
Figura 3.3 :	(a)Extração de testemunhos do maciço; (b) aspecto dos testemunhos retirados para ensaios. Estudo de aderência entre camadas de CCR.....	76
Figura 4.1 :	Fluxograma do programa experimental.....	77
Figura 4.2 :	Curva Granulométrica do Agregado Graúdo Basalto 25 mm.....	84
Figura 4.3 :	Curva Granulométrica do Agregado Graúdo Basalto 50 mm.....	85
Figura 4.4 :	Curva Granulométrica do Agregado Miúdo Areia Artificial.....	86
Figura 4.5 :	Cannon Time. (a) preenchimento do recipiente; (b) arrasamento do topo	89
Figura 4.6 :	Cannon Time. (a) vibração; (b) vazios preenchidos	89
Figura 4.7 :	Massa unitária. (a) colocação de água; (b) massa final com água.....	90
Figura 4.8 :	DMA. (a) determinação do volume de equilíbrio; (b) determinação da massa da amostra	91
Figura 4.9 :	DMA : (a) preenchimento com água; (b) agitação manual da mistura.....	91

Figura 4.10 : DMA : (a) repouso para sedimentação; (b) abertura do sifão para determinação do volume deslocado	92
Figura 4.11 : Permeabilidade do concreto fresco. (a) moldagem de corpo-de-prova; (b) adensamento de Corpo-de-prova	93
Figura 4.12 : Permeabilidade do concreto fresco. (a) filtro com cascalho; (b) colocação de água na bureta	93
Figura 4.13 : Ensaio de permeabilidade do concreto fresco em andamento	94
Figura 4.14 : Moldagem de corpo-de-prova. (a) preenchimento dos moldes - 1a camada; (b) preenchimento da 2a camada	95
Figura 4.15 : Moldagem de corpo-de-prova. (a) vibração com contrapeso (b) Acabamento com contrapeso e desempenadeira.....	95
Figura 4.16 : Método para determinação da densidade "in situ" através do densímetro nuclear – Transmissão direta	96
Figura 4.17 : Método para determinação da densidade "in situ" através do densímetro nuclear – Retrodispersão.....	97
Figura 4.18 : (a) Densímetro nuclear; (b) detalhe do painel do densímetro.....	97
Figura 4.19 : Ensaio com densímetro nuclear. (a) execução de furo no maciço; (b) medição da massa específica	98
Figura 4.20 : Ensaio de tração direta. (a) conjunto de molas, tampas e tubo cônico; (b) montagem na prensa	100
Figura 4.21 : Ensaio de tração direta. (a) equipamento de Ensaio; (b) ruptura do corpo-de-prova	100
Figura 4.22 : Extração de testemunhos horizontalmente entre camadas.....	101
Figura 4.23 : Ensaio de tração por compressão diametral. (a) corpo-de prova apoiado sobre as taliscas; (b) corpo-de-prova fraturado após a execução do ensaio ..	102
Figura 4.24 : (a) Módulo de elasticidade com extensômetro elétrico (externo); (b) módulo de elasticidade com extensômetro mecânico.....	103
Figura 4.25 : Equipamentos para determinação da permeabilidade.....	104
Figura 4.26 : Desenho esquemático do sistema de carga	104
Figura 4.27 : Envoltória de Mohr-Coulomb (HESS, 1999)	105
Figura 4.28 : Desenho esquemático do arranjo para ensaio de cisalhamento	106
Figura 4.29 : Ensaio de cisalhamento direto. (a) prensa servo-controlada; (b) corpo-de-prova confinado	107
Figura 4.30 : Curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal, deslocamento horizontal x deslocamento vertical e a envoltória de resistência.....	108
Figura 4.31 : Preparação da superfície. (a) Apicoamento com escarificador pneumático; (b) vista geral dos dois tratamentos da superfície do concreto	110
Figura 4.32 : Desenho esquemático do maciço experimental	110
Figura 4.33 : Vista geral do equipamento para compactação de CCR.....	116
Figura 4.34 : Confecção de um maciço. (a) Compactação das extremidades; (b) medição da altura camada após compactação das extremidades	117

Figura 4.35 : Confeção de um maciço. (a) Detalhe da lateral durante a compactação; (b) rolo compactador em operação	118
Figura 4.36 : Regularização da superfície da camada com vibro-acabadora	118
Figura 4.37 : Dispositivo de cura. (a) vista Geral; (b) acessórios acoplados	119
Figura 4.38 : Dispositivo de cura instalado na fôrma.....	119
Figura 4.39 : Sala de dosagem. (a) pesagem dos materiais para execução do CCR; (b) Abastecimento da betoneira de 1,5 m ³	120
Figura 4.40 : Sala de dosagem. (a) descarga do CCR; (b) homogeneização do CCR pós-mistura.....	120
Figura 4.41 : Confeção do maciço. (a) lançamento e espalhamento do CCR; (b) compactação das extremidades do CCR	121
Figura 4.42 : Confeção do maciço. (a) medição da altura da camada após a compactação das extremidades; (b) vista Geral do equipamento em operação	121
Figura 4.43 : Ensaio com Densímetro Nuclear. (a) execução do furo no maciço; (b) determinação da massa específica do CCR.....	122
Figura 4.44 : Armazenamento do maciço. (a) transporte do maciço de CCR; (b) maciço de CCR na Câmara úmida.....	122
Figura 4.45 : Desforma do maciço. (a) desforma lateral do maciço; (b) continuação da desforma do maciço de CCR	123
Figura 4.46 : Desforma do maciço. (a) vista lateral do maciço; (b) vista geral do maciço após desforma	123
Figura 4.47 : Extração de testemunhos. (a) vista geral da extração de testemunhos; (b) retirada do testemunho extraído	124
Figura 4.48 : Corte com fio diamantado. (a) corte com fio diamantado do maciço; (b) vista da seção transversal do maciço após corte com fio diamantado	124
Figura 4.49 : Plano de extração dos maciços experimentais números de 01 a 06.....	127
Figura 4.50 : Plano de extração dos maciços experimentais números de 07 a 10.....	128
Figura 4.51 : Maciço experimental. (a) vista superior do maciço; (b) vista lateral do maciço.....	129
Figura 4.52 : Sondas de extração de testemunhos. (a) sonda Mach 920 em operação; (b) detalhe da sonda Hilti DD 250	129
Figura 4.53 : Extração de testemunhos. (a) extração vertical; (b) detalhe da retirada do testemunho	130
Figura 4.54 : Extração horizontal	130
Figura 4.55 : Corte do testemunho. (a) corte em serra circular; (b) Corte do maciço com fio diamantado.....	131
Figura 4.56 : Preparação dos testemunhos. (a) reparo e acabamento nos topos; (b) testemunhos após o acabamento com argamassa.....	131
Figura 5.1 : Resistência à compressão e massa específica em testemunhos extraídos.....	136
Figura 5.2 : Resistência à Tração Direta x Idade.....	137
Figura 5.3 : Resistência à Tração por Compressão Diametral x Idade	139

Figura 5.4 :	Módulo de Elasticidade x Idade.....	140
Figura 5.5 :	Tensão Cisalhante x Idade corpos-de-prova moldados	142
Figura 5.6 :	Envoltórias de Resistência do CCR dos Maciços	142
Figura 5.7 :	Fluxograma de análise das propriedades das juntas	145
Figura 5.8 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função da Utilização de Argamassa. Intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.....	147
Figura 5.9 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Tipo de Tratamento. Intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	147
Figura 5.10 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Tipo de Tratamento. Juntas sem argamassa para intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.....	148
Figura 5.11 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Juntas sem argamassa.....	149
Figura 5.12 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Juntas com argamassa.	150
Figura 5.13 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função da Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento das juntas. Juntas com argamassa.	150
Figura 5.14 :	Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h...	151
Figura 5.15 :	Valores médios de resistência à tração simples em função do Tipo de corpo-de-prova com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média de 95%.	152
Figura 5.16 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	153
Figura 5.17 :	Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	153
Figura 5.18 :	Valores médios de resistência à tração direta em função da Utilização de Argamassa em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	154
Figura 5.19 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.	154
Figura 5.20 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.	155
Figura 5.21 :	Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.	156
Figura 5.22 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.	156
Figura 5.23 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.	157
Figura 5.24 :	Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.	158
Figura 5.25 :	Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.	158

Figura 5.26 :	Valores médios de resistência à tração simples em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h.....	159
Figura 5.27 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de corpo-de-prova com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média de 95%.	160
Figura 5.28 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 8h e 12h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa.....	162
Figura 5.29 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.	162
Figura 5.30 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Utilização de Argamassa para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.	163
Figura 5.31 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.....	163
Figura 5.32 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 0h a 12h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.....	166
Figura 5.33 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.....	166
Figura 5.34 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.	167
Figura 5.35 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 8h a 48h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.	169
Figura 5.36 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.	170
Figura 5.37 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.....	170
Figura 5.38 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 900 kPa).	172
Figura 5.39 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 1800 kPa).	172
Figura 5.40 :	Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 2700kPa).	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a	Área da seção transversal da bureta
A	Área da seção transversal do corpo-de-prova
a/c	Relação Água Cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AHE	Aproveitamento Hidrelétrico
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
Am	Amerício
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
Be	Belírio
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
BS	<i>British Standard</i>
C	Correção pela temperatura da água
c/e	Índice de Forma
CaO	Óxido de cálcio livre
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
CCR	Concreto Compactado com Rolo
CCV	Concreto Convencional
CP	Corpo-de-Prova
CP IV-32	Cimento Portland pozolânico
CRIEPI	Centro de Pesquisas da Indústria de Energia Elétrica
Cs	Césio
DCT.T	Departamento de Apoio e Controle Técnico
DMA	Dispositivo para Determinação da Massa Unitária e Água Unitária
EMIC	Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.
γ _P	Massa Unitária do Concreto
γ _t	Massa Específica Teórica
γ _c	Massa Específica Obtida
GPa	Giga Pascal
h ₁	Carga hidráulica inicial, em metros

h_2	Carga hidráulica final, em metros
H	Pressão Manométrica do Ensaio
K	Coefficiente de permeabilidade
K_2O	Óxido de potássio
kPa	Kilo Pascal
L	Altura do corpo-de-prova
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LAME	Laboratório de Materiais e Estruturas
M.F.	Modulo de Finura
M_c	Massa específica do concreto inserida no DMA
M_c	Massa Específica do Concreto inserida no Dispositivo para Determinação da Massa Unitária e Água Unitária
Mesp	Massa Específica do Concreto Compactado com Rolo
MgO	Óxido de magnésio
MPa	Mega Pascal
Na_2O	Óxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
°C	Grau Celsius
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PCH's	Pequenas Centrais Hidrelétricas
Q	Vazão de Entrada no Painel de Ensaio
RCD	<i>Roller Concrete for Dam</i>
S.S.S.	Superfície Saturada Seca
SiO_2	Dióxido de silício
SO_3	Trióxido de enxofre
TVA	<i>Tennessee Valey Authority</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
USBR	<i>United States Bureau of Reclamation</i>
V_c	Volume do Concreto
V_c	Volume do Concreto
$V_{deslocado}$	Volume de Água Deslocado
$V_{deslocado}$	Volume de água deslocado
W_c	Peso do Concreto
Δt	Tempo necessário para a carga hidráulica passar de h_1 para h_2

1. INTRODUÇÃO

A utilização do Concreto Compactado com Rolo (CCR), para a construção de barragens, usinas hidrelétricas, diques, ensecadeiras, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) e inúmeras outras obras que possibilitam a utilização desta técnica representa, provavelmente, o mais importante avanço recente da tecnologia de construção de estruturas hidráulicas.

Esta técnica consolidou-se no início da década de 80 (PACELLI DE ANDRADE, 1996) e modificou o panorama das construções de barragens, devido à rapidez e qualidade de execução das estruturas e, em muitos casos, mostra-se competitiva em várias alternativas de arranjos físicos quando comparada com arranjos utilizando os métodos construtivos tradicionais do tipo:

- barragens de terra;
- barragens de enrocamento com núcleo de argila;
- barragens de enrocamento com face de concreto.

Durante a elaboração de um projeto de barragem, qualquer que seja a concepção adotada, são de fundamental importância a parametrização do material, a confiabilidade dos processos de dosagem do concreto e a indicação de valores para o controle da qualidade da obra e sua análise (MARQUES FILHO, 2005).

Adicionalmente ao controle de qualidade, é comum a construção de um maciço experimental antes do início do lançamento do CCR na estrutura definitiva, com o objetivo de calibrar equipamentos, ajustar dosagens, qualificar a mão-de-obra utilizada, definir altura de camadas e número de passadas do rolo compactador. Posteriormente, são realizadas campanhas de extração de testemunhos para a definição de alguns parâmetros de projeto e do tratamento adequado a ser dado na interface entre camadas, pois, no processo de lançamento sucessivo, é inevitável a geração de juntas de construção com diferentes intervalos de exposição da superfície.

As juntas entre camadas de lançamento sucessivo são as partes mais críticas em relação à resistência mecânica e à permeabilidade pelo maciço de concreto (CREAGER *et al.*, 1965; VARLET, 1972; SCHREIBER, 1981 e SHARMA, 1981), e são consideradas nos diversos critérios na fase de projeto. Entretanto, durante a construção de um empreendimento que utiliza CCR, surgem várias dúvidas quanto ao tempo de exposição da junta ou intervalo

de lançamento entre camadas que possibilite a dispensa de tratamento da superfície e minimize a aplicação de argamassa de ligação, sem perder a garantia de controle da permeabilidade da estrutura.

Para controlar possíveis percolações pelas juntas de construção, atualmente tem-se adotado a aplicação de uma argamassa de ligação entre 30% e 100% da extensão da superfície da junta, pois o intervalo de lançamento entre camadas normalmente situa-se entre 8 h e 12 h, resultando numa obrigatoriedade de realização de algum tipo de tratamento. Porém, caso o processo de tratamento da junta seja executado de forma incorreta e sem a devida inspeção do controle de qualidade, certamente haverá um comprometimento da estanqueidade da estrutura, levando à percolação de água pelas juntas de construção.

Esta pesquisa é composta por um estudo que utiliza maciços experimentais confeccionados em laboratório para a previsão do comportamento das propriedades físicas do concreto compactado com rolo utilizando corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos dos maciços. Além de fornecer subsídios para identificar o tipo de tratamento e o tempo de exposição mais adequado para as diferentes temperaturas de exposição, possibilita a obtenção de parâmetros confiáveis a serem aplicados durante a fase de projeto, cria padrões para o controle de qualidade da obra e fornece suporte para que o processo construtivo escolhido seja o mais adequado dos pontos de vista técnico e econômico.

Os maciços experimentais foram executados no equipamento para compactação de CCR em laboratório existente no Laboratório de Concreto do Departamento de Apoio e Controle Técnico de Furnas Centrais Elétricas S.A., em Goiânia, estado de Goiás.

1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

O CCR tem como característica importante a diminuição considerável do tempo de execução de obra, com a utilização de equipamentos com grande disponibilidade no mercado mundial de engenharia civil, promovendo o retorno das soluções em concreto para os barramentos hidráulicos (MARQUES FILHO, 2005).

Utilizado inicialmente de forma pouco incisiva devido à deficiência do meio técnico em averiguar possibilidades prévias que garantam a aderência e a estanqueidade da estrutura e pela desconfiança da ligação entre camadas ou pela possibilidade de uma percolação entre elas, o CCR foi tomando vulto no meio técnico nacional e internacional, passando a ser

utilizado em obras e aproveitamentos de grande porte.

Este trabalho procura mostrar, no caso de obras executadas com CCR, as vantagens de se determinar os intervalos máximos de lançamento e o tipo de tratamento da junta de construção utilizando maciços experimentais confeccionados em laboratório, para que se possa minimizar a aplicação de um elemento de ligação entre camadas, uma vez que as obras executadas utilizaram, e as em construção utilizam, uma argamassa de ligação ou um concreto de berço em toda a extensão da superfície da junta ou em uma boa parte dela. A redução da aplicação de um elemento de ligação entre camadas poderá minimizar uma etapa no processo executivo, diminuindo interferências no processo mecanizado e reduzir consideravelmente os custos do maciço.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é caracterizar as propriedades do CCR e das juntas geradas devido ao processo construtivo, utilizando testemunhos extraídos de maciços experimentais confeccionados em laboratório juntamente com corpos-de-prova moldados durante a moldagem dos maciços, além de fornecer subsídios para a obtenção de novos processos construtivos que possam acelerar de forma confiável e segura a construção de barragens com CCR, e que permitam criar novas possibilidades para garantir a aderência das camadas e o controle da permeabilidade do paramento de montante.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar a influência do intervalo de lançamento do CCR nas propriedades mecânicas, elásticas e de permeabilidade da junta;
- ✓ investigar o efeito da variação da temperatura de exposição das juntas entre camadas nas propriedades mecânicas, elásticas e de permeabilidade, por meio da realização de ensaios em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos de maciços experimentais;
- ✓ fornecer critérios para tratamento da interface entre camadas, em função de intervalos de lançamento e interrupções de concretagem não previstas em projeto, ou com intervalos superiores aos preconizados nas especificações técnicas da obra;

- ✓ investigar o efeito da extração de testemunhos nas propriedades mecânicas e elásticas do CCR em relação aos corpos-de-prova moldados;
- ✓ estabelecer parâmetros e diretrizes para a execução de maciços experimentais confeccionados em laboratório, para projetos que especificam a utilização de CCR.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos.

O primeiro capítulo refere-se à introdução, à justificativa e importância da pesquisa e aos objetivos, conforme apresentado anteriormente.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o CCR, considerando as suas principais características e um breve histórico sobre o seu surgimento e aplicações no meio técnico. Também é apresentada uma explanação sobre a sua fabricação e métodos de lançamento, adensamento e cura em barragens.

No Capítulo 3, é realizada uma abordagem sobre CCR como material para pesquisa em laboratório, levando-se em consideração critérios de projeto para tratamento de juntas de construção e são discutidos os diversos processos de tratamento da interface entre camadas, adotados em várias obras que utilizaram o CCR como material de construção. Ainda é apresentada uma alternativa para a caracterização das propriedades do CCR, utilizando maciços experimentais confeccionados em laboratório.

No Capítulo 4, é descrito todo o programa experimental e apresentadas as técnicas e os ensaios empregados na caracterização dos materiais e os ensaios específicos realizados para caracterizar o CCR, bem como a matriz experimental utilizada no processo. Neste capítulo, também, está detalhado todo o processo para a confecção de um maciço experimental em laboratório, desde a sua moldagem e cura até a obtenção de testemunhos para ensaio.

No Capítulo 5, são apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos no decorrer deste trabalho, segregados em ensaios realizados para a caracterização das propriedades do CCR na camada e na junta.

No Capítulo 6, é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos, onde são elencadas as considerações e conclusões finais.

2. O CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)

2.1. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL

Segundo a terminologia do ACI 116 R (2000), Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um material que, em seu estado fresco, é capaz de suportar o peso de um rolo vibratório compactador no momento da compactação. Segundo essa especificação, esse concreto pode apresentar características no estado endurecido, bastante similares às obtidas em concretos convencionais, o que é alcançado pela alta energia necessária para sua compactação, diferente da aplicada em concretos convencionais (CCV), normalmente vibrados. Contudo, com a evolução da tecnologia de concreto, há cada vez mais a aproximação do CCR de um concreto convencional, tanto pelas suas características no estado fresco quanto no estado endurecido, o que induz a pensar na introdução desse material em obras que antes só poderiam ser obtidas com concretos convencionais, como por exemplo, uma barragem em arco.

A *Portland Cement Association* – PCA (1984) define o CCR como um concreto que é misturado, espalhado e compactado com equipamentos tradicionalmente empregados na pavimentação rodoviária. Deve ser seco, de consistência dura e trabalhabilidade tal que permita a sua compactação por rolos vibratórios, ao invés de serem empregados régua vibratórias ou vibradores de imersão.

Segundo Andriolo (1989), o desenvolvimento atual do CCR (ou *Rollcrete*) é resultado da necessidade de se projetar barragens de concreto que pudessem ser construídas mais rápida e economicamente, em relação àquelas onde se empregam os métodos construtivos convencionais. Ele define CCR mais abrangentemente, como “Concreto de consistência seca, que, no estado fresco, pode ser misturado, transportado, lançado e compactado por meio de equipamentos usualmente utilizados em serviços de terraplenagem ou enrocamento”. É uma tecnologia de construção, não um critério ou tecnologia de projeto, na qual se utiliza um concreto de consistência denominada *no-slump*, no seu estado fresco. Ou seja, o CCR é um concreto que no seu estado fresco é capaz de suportar um equipamento de compactação externa.

Pacelli de Andrade (1984) define CCR como concreto de consistência seca (Figura 2.1) comparado ao concreto massa convencional, não mensurável pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, consolidado por vibração externa, utilizando rolo vibratório. Para sua consolidação efetiva, o CCR deve ser seco o suficiente para suportar o peso do equipamento de vibração e permitir fácil adensamento à ação do rolo, apresentando no final, depois de endurecido, as características comumente obtidas no concreto massa convencional.



Figura 2.1 : Concreto Compactado com Rolo utilizado na construção da barragem do AHE Peixe Angical – TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

De acordo com Oliveira *et al.* (1995), o CCR é definido como sendo um concreto de consistência seca – *no slump*, aspecto arenoso com propriedades próprias, que é transportado, espalhado e compactado de forma contínua, através de maquinários usualmente aplicados em obras de terra e enrocamento.

Marques Filho (2005) descreve o CCR, mais abrangentemente, como uma técnica construtiva, com peculiaridade de uso intensivo de equipamentos tipicamente empregados em obras de terra / enrocamento, utilizando um material conhecido que é o concreto, procurando obter um máximo desempenho no quesito velocidade de lançamento, aliado a custos baixos e teores de cimento relativamente pequenos para diminuição dos efeitos das variações volumétricas de origem termogênica do concreto, nas obras de concreto massa.

Com base nas definições dos autores supracitados, pode-se afirmar que o Concreto Compactado com Rolo é uma técnica construtiva que busca obter um maior desempenho na velocidade de lançamento com baixos teores de cimento e baixos custos, tornando-se assim, uma opção bastante atrativa para a viabilização de grandes projetos com concreto massivo que normalmente exigem cronogramas reduzidos, uma vez que os métodos tradicionais utilizados

para a construção de barramentos possuem cronogramas extensos, o que torna o projeto mais oneroso.

A técnica utiliza maciçamente equipamentos de obras de terra, para colocação e compactação do concreto, diminuindo a parcela de mão-de-obra por unidade de volume quando comparado com obras de concreto convencional, gerando um processo industrial muito eficiente, com atividades repetitivas mensuráveis. Sua aplicação deve ser sempre analisada holisticamente ao longo de todas as fases de implantação de um empreendimento, desde a detecção da necessidade da sociedade até o final de sua vida útil. O processo executivo impacta em todas as etapas construtivas, pois seu o processo de execução e controle são particulares e totalmente diferentes da prática usual dos concretos massa convencionais, bem como pode trazer aspectos a serem avaliados e monitorados ao longo da vida útil da obra.

A tecnologia do CCR é uma das alternativas mais indicadas, do ponto de vista de custo e benefício, para barragens com fins de acumulação de água como açudes para irrigação ou perenização de rios, para controle de enchentes, geração de energia, lazer e pavimentos. O CCR utilizado para construção de barragens e pavimentos concorre diretamente com tecnologias que utilizam terra e as que utilizam enrocamento (MEDEIROS, 2005).

A solução de utilização do Concreto Compactado com Rolo, com sucesso na competitiva atualidade brasileira em projetos de engenharia, tem no seu ponto crucial o planejamento da obra. O CCR é um método que imprime alta velocidade executiva, exige que seja feito um detalhado planejamento, abordando sua própria execução e sua interdependência com o concreto convencional.

De acordo com Andriolo (2002), desde o final da década de 70, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas a respeito do CCR, juntamente com o acontecimento de diversos simpósios e congressos direcionados para discussão sobre as informações obtidas, ensaios e pontos de vistas sobre tal material.

2.2. HISTÓRICO

As mais antigas barragens que se têm notícia foram construídas de terra pelos primitivos habitantes da Índia, Ceilão, Mesopotâmia ou China, e pelos Egípcios, Gregos, Romanos e Astecas, ou pelas civilizações Maia e Inca. A primeira barragem conhecida foi construída por Marduk (Nemrod na Bíblia) no rio Tigris, na Caldéia. Esta barragem teria resistido até o fim do século III, e como outras de terra da época, era protegida por uma

estrutura de madeira. Já mais tarde, os Romanos construíram barragens de terra com descarregadores e com a proteção de alvenaria no talude de montante. As barragens mais antigas foram aparecendo em várias partes do globo, nas zonas ao longo dos grandes rios, barragens de alvenaria, por vezes com núcleos impermeáveis (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1987 *Apud* SERAFIN, 1988).

Serafim (1988) afirma que a primeira barragem que se tem conhecimento, construída pelo homem, foi de terra, porém as barragens mais conhecidas são de alvenaria-gravidade, construídas por egípcios, gregos e romanos e consistiam muitas vezes de “*opus incertum*”, o que significa entulho de alvenaria. Algumas barragens construídas pelos romanos eram de “*opus pseidomonem*” ou alvenaria de pedras perfeitamente cortadas, nas faces, e preenchidas com um material que equivale ao concreto utilizado nos dias atuais, o “*opus cementium*”. Com certeza, estas barragens eram as mais fáceis e as mais seguras em termos de execução e se tornaram resistentes devido às grandes pedras que constituíam as suas faces. Este tipo de construção era o que mais se assemelhava às barragens atualmente construídas em CCR.

A mais antiga do mundo é tida como a barragem de Saad-el-Kaffar, no Egito. Pensa-se que tenha sido construída entre 2950 a 2750 a.C., apresentando um coroamento de mais de 100 metros e uma altura de 12 metros. Suas ruínas foram descobertas em 1855, por Schweinfurth. A construção em paredes de pedra desta barragem mostra a grande aptidão dos Egípcios para trabalhar este material. Talvez devido à influência dos conhecimentos do tempo de Alexandre, o Grande, barragens de alvenaria deste tipo foram construídas na Grécia, na Índia e noutros locais e mais tarde pelo Império Romano, já utilizando argamassa de cal apagada para ligação das pedras (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1987).

Os romanos foram os inventores da construção em concreto misturando cal com pozolanas naturais de seus vulcões. Para dar uma maior possibilidade de sobrevivência em algumas de suas barragens, como Narib, no Yemen, ou na Espanha (Alcantarilla, Proserpina e Carnalbo), eles utilizavam grandes pedras, efetuando o enchimento dos caixões com concreto (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1987).

O concreto feito com cimento Portland estava sendo utilizado no interior de barragens de terra, no núcleo de alvenaria ou na construção das suas paredes, no final do século XIX. A barragem de Crystal Springs, com 46,2 m de altura na Califórnia, construída em 1888, foi, provavelmente, o primeiro registro de controle tecnológico do concreto, especificando-se o tamanho dos blocos de concretagem e limitando a relação água-cimento (CBGB *et al.*, 1989).

Segundo Pacelli de Andrade (1987), em cerca de 1900, o concreto começou a ser utilizado intensamente como material empregue em barragens, usando-se fôrmas de madeira em vez de paredes de alvenaria. A barragem de San Mateo, de 52 metros de altura, construída na Califórnia, possivelmente foi a primeira a ser executada unicamente em concreto.

No início do século XX, foi construída a primeira hidrelétrica para abastecer a cidade de São Paulo (Figura 2.2), a usina de Parnayba (hoje Edgard de Souza), perto da Vila de Parnayba. Foi construída pela Ligth em apenas 15 meses, apesar da dificuldade da época em transpor 33 quilômetros de distância, e inaugurada em 23 de setembro de 1901 (PACELLI DE ANDRADE, 1987).



Figura 2.2 : Usina de Parnayba (PACELLI DE ANDRADE, 1991).

O desenvolvimento e a sedimentação dos processos executivos e da maioria dos conceitos envolvidos na tecnologia de concreto sofreram grandes evoluções nas três primeiras décadas do século XX (MARQUES FILHO, 2005).

No início da década de 30, quando começou a ser executado o controle de qualidade mais rigoroso e a investigação dos materiais passou a ser feita de maneira judiciosa e científica, a construção de barragens de concreto sofreu um desenvolvimento acentuado. A construção da barragem de Hoover, nos Estados Unidos da América, foi o marco inicial para a moderna tecnologia de construção das barragens em concreto (PACELLI DE ANDRADE 1996).

A construção de barragens de concreto teve uma evolução em três períodos bem distintos (PACELLI DE ANDRADE, 1996):

- até o início da década de 30;

- a construção de Hoover Dam até o início do CCR;
- período das construções com CCR.

Após a segunda guerra mundial, a indústria de equipamentos pesados tornou viável a utilização dos equipamentos de terraplenagem e o desenvolvimento intenso das barragens de materiais soltos. Surgiu, então, a idéia de se aperfeiçoar o processo executivo das barragens de concreto com equipamentos semelhantes aos das obras de terra, utilizando-se um concreto com consistência relativamente seca que suportasse o tráfego de equipamentos de transporte, espalhamento e compactação e que tivesse o desempenho igual ou semelhante ao concreto massa convencional (MARQUES FILHO, 2005).

Hadley (1941) sugeriu a possibilidade de se utilizar técnicas comuns a obras de terra para execução de barragens de concreto (CCR), porém, somente na década de 60 foram executadas as suas primeiras aplicações.

As primeiras utilizações da técnica de compactação podem ser divididas entre a ensecadeira da Barragem de Shimen, em Taipei, que utilizou concreto como núcleo impermeável de barragem de terra (LOWE, 1962) e a Barragem de Alpe Gera, construída entre 1961 e 1964 na Itália. Nesta última utilizou-se processo misto de compactação via rolos vibratórios e criou-se o conceito de concreto convencional lançado em camadas de ombreira a ombreira, utilizando bancada de vibradores de imersão colocada em tratores (GENTILE, 1964 e 1970). Estas aplicações iniciais diferem muito da técnica usada atualmente para o CCR, mas cria condições para a discussão e o emprego posterior em larga escala do processo construtivo. A Figura 2.3 mostra a seção transversal da ensecadeira, como ela foi construída originalmente. Esta ensecadeira seria incorporada à barragem.

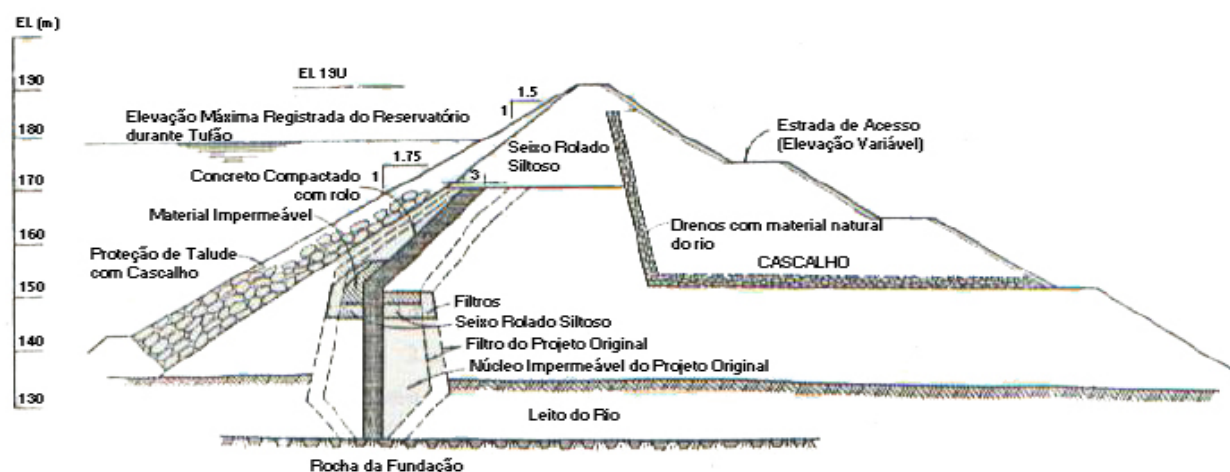


Figura 2.3 : Seção transversal da ensecadeira da Barragem de Shimen – Primeira utilização do CCR (PACELLI DE ANDRADE, 1991).

No início da década de 70, houve vários ensaios em laboratório para exploração da técnica de compactação de concreto e da substituição do cimento por pozolana. Vale ressaltar os trabalhos de Moffat (1973a, b) sobre o desenvolvimento de CCR aplicado a barragens de concreto, e o trabalho de Cannon (1972, 1974) sobre os resultados de testes de compactação desenvolvidos na barragem de Tims Ford, nos Estados Unidos.

A conceituação para o desenvolvimento do uso do CCR na construção de barragens foi dado na conferência de Asilomar, na Califórnia (EUA), em 1972, onde a necessidade de um método mais rápido e também mais econômico para a construção de barragens foi discutida, sendo apresentados trabalhos que relatavam a utilização do CCR como material alternativo (ANDRIOLO, 1998). A partir dessa conferência, muitos outros congressos relativos à tecnologia em CCR emergiram em todo o mundo, difundindo as vantagens deste tipo de concreto, não apenas em obras que demandam grandes volumes de concreto, como as barragens, mas também em estruturas de proteção e reforço de taludes de barragens de solo e enrocamento, com a finalidade de evitar ou limitar a erosão (LEITE, *et al.*, 1995).

A primeira grande obra de CCR foi Willow Creek, construída nos Estados Unidos da América em 1982, com 52 m de altura e um volume de CCR de 317.000 m³. O projeto previu baixo consumo de material cimentício, e utilização de placas pré-moldadas de concreto para garantir a estanqueidade a montante, mas não foi especificado nenhum tipo de elemento de ligação entre camadas. Devido a este fato, quando a barragem entrou em operação, foram observados vazamentos acima dos toleráveis previstos no projeto, os quais foram sendo corrigidos com injeções de calda de cimento (SCHRADER, 1981 e 1982; SCHRADER e THAYER, 1982; HOLANDA, 1983; SCHRADER e MCKINNON, 1984; MCDOWELL, 1985).

Enquanto isso, no Japão, foi desenvolvida a técnica de compactação denominada RCD (*Roller Compacted Dam*), onde o concreto rolado é colocado em blocos monolíticos de 15 m de largura, com juntas cortadas mecanicamente após a compactação (HIROSE, 1982; JNCOLD, 1982; HANSEN e REINHARDT, 1991; ANDRIOLO, 1998). Esta técnica não leva em consideração a otimização do consumo de cimento da mistura, e têm critérios de projeto estruturais muito rígidos, herança de um país com problemas sísmicos. O método japonês teve sua primeira aplicação de grande porte na Barragem de Shimajigawa, em 1982, com a aplicação de 165.000 m³ de CCR. O grande marco para a engenharia com este tipo de solução é a construção da barragem de Tamagawa, com 100 m de altura, com 1.150.000 m³, sendo cerca de 1.000.000 m³ de RCD, em 1987 (MARQUES FILHO, 2005).

Algumas etapas básicas sobre o desenvolvimento de estudos e aplicações do CCR no mundo merecem ser mencionadas, tais como (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2006):

- Estados Unidos, 1972 e 1973 - Corps of Engineers, Execução de Maciços Experimentais e Ensaio de Laboratório;
- Paquistão, 1974 – Obra de Tarbela, onde foram aplicados 2,6 milhões de m³ de CCR na reconstituição de rochas erodidas (pico de 18.000 m³/dia);
- Japão, 1974 – Ministério das Construções iniciou programa de pesquisas, incluindo CCR, objetivando reduzir custos e prazos na construção de barragens;
- Japão, 1979 – Construção da barragem de Shimajigawa, utilizando-se 170.000 m³ de CCR, batizado no Japão com o nome de *Roller Concrete for Dam* (RCD);
- Estados Unidos, 1982 – Projetada e construída a primeira barragem totalmente em CCR, chamada Willow Creek, com 52 m de altura, utilizando volume de CCR igual a 317.000 m³ e prazo de lançamento do concreto de 5 meses.

De acordo com Londe (1993), até 1992 a proporção entre as barragens de aterro e de concreto sendo construídas era de 5:1, com base nos dados entre 1960 e 1993. Porém, Kuperman (1996) afirma que esta proporção passou a ser de 2:1 a partir de 1996. No Brasil, a técnica do CCR teve seu primeiro registro no ano de 1976, quando foi feita uma aplicação de CCR na construção do contrapiso de almoxarifados no canteiro de obras da Usina Hidrelétrica de Itaipu, mostrada na Figura 2.4-a. Na época, para estudar e começar a desenvolver esta técnica, foram lançados 26.000 m³ em CCR, de um volume total de 14 milhões de m³ de concreto (NETTO *et al.*, 1995; ANDRIOLO, 1998). Em 1978, foram desenvolvidos estudos para utilização do CCR na rampa de acesso na Itaipu Binacional (ANDRIOLO *et al.*, 1984; MACHADO *et al.*, 1995; KUPERMAN, 1996;). Também neste ano foram executados 40.000

m³ de CCR para preenchimento das adufas de desvio da Usina Hidrelétrica de São Simão. A partir de então, o CCR foi aplicado em Tucuruí (PA) e Três Marias na década de 1980, em um trecho do muro da eclusa e em um aumento da altura do vertedouro, respectivamente (PIMENTEL *et al.*, 1985). Entretanto, a primeira barragem efetivamente construída no Brasil com CCR foi Saco de Nova Olinda (PB), em 1986, com 56 m de altura e com a aplicação de 135.000 m³ de CCR, mostrada na Figura 2.4-b (DUMONT *et al.*, 1987).



Figura 2.4 : Primeira concretagem experimental com CCR no Brasil, realizada na usina de Itaipu; (b) Primeira barragem com CCR no Brasil, realizada em Saco de Nova Olinda (MEDEIROS, 2005).

A experiência brasileira no estudo, desenvolvimento e aplicação do CCR em barragens e pavimentos pode ser relatada de forma sucinta (MEDEIROS, 2005):

- 1976 – Hidrelétrica de Itaipu, primeira experiência brasileira, execução de um piso da oficina mecânica da empreiteira;
- 1978 – Hidrelétrica de Itaipu, construção de maciços experimentais, ensaios de laboratório e aplicação de CCR no preenchimento de alguns acessos às fundações da barragem, atingindo o volume de 26.000 m³;
- 1978 – Hidrelétrica de São Simão, onde foram lançados cerca de 40.000 m³ em locais diversos;
- 1982 – Hidrelétrica de Tucuruí, onde no muro da eclusa foram lançados cerca de 12.000 m³, considerado o primeiro lançamento de CCR em estrutura definitiva;
- 1986 – Paraíba, barragem de abastecimento de Saco de Nova Olinda, com 56 m de altura e volume de 135.000 m³ de CCR lançados em 110 dias;

As duas primeiras barragens de grande porte construídas em CCR no Brasil estão no estado do Paraná. A primeira é a Derivação do Rio Jordão, propriedade da COPEL com 547.000 m³ de CCR lançados e 95 m de altura, construída em 1996 (BLINDER *et al.*, 1995;

MARQUES FILHO, *et al.*, 1996). A segunda é a Usina Hidrelétrica Salto Caxias, concluída em 1998. Esta barragem tem 66 m de altura e um volume de CCR de 912.000 m³ de um volume total de concreto de 1.438.000 m³ (KAMEL *et al.*, 1996; KREMPEL e PEREIRA, 1997).

Vale salientar ainda o excelente controle de qualidade do CCR aplicado na construção das barragens de Val de Serra, Bertarello e Dona Francisca (CBGB *et al.*, 1989; ULHOA *et al.*, 1998; FRANCO *et al.*, 1998 e 1998b; ANTUNES SOBRINHO *et al.*, 1998; MOSER *et al.*, 2003). Ressalta-se que a UHE Dona Francisca foi pioneira na realização de estudos com maciços experimentais de CCR confeccionados em laboratório para auxiliar a tomada de decisão sobre processos executivos e definir dosagens e equipamentos utilizados na construção da obra (MARQUES FILHO, 2005). Na Figura 2.5 está apresentada uma vista geral da UHE Dona Francisca em construção, podendo ser observadas as facilidades industriais principais da obra.



Figura 2.5 : Concreto Compactado com Rolo utilizado na construção da barragem da UHE Dona Francisca (MARQUES FILHO, 2005).

Recentemente no Brasil, foram construídas mais três grandes obras em CCR, a UHE Cana Brava no estado de Goiás, em 2001, com um volume aplicado de CCR de 400 mil m³ em barragem com altura máxima de 71m (BABÁ *et al.*, 2002), a UHE Lajeado no estado de Tocantins, em 2001, com aplicação de 210 mil m³ de CCR em barragem com altura máxima de 43 m (BATISTA *et al.*, 2002; e GRAÇA *et al.*, 2003) e o AHE Peixe Angical, também no estado do Tocantins, em 2006 com um volume de CCR aplicado de 246 mil m³ e altura máxima de 39m (LACERDA *et al.*, 2006), sendo que a primeira foi executada utilizando o método construtivo tradicional, ou seja, com lançamento de camadas horizontais de 30 cm de altura e argamassa de ligação entre camadas e as outras duas com o método de camadas

inclinadas (chinês rampado) (a ser discutido no item 2.3), sendo que a UHE Lajeado foi a pioneira no Brasil a utilizar esta técnica.

Outras duas obras recém inauguradas no Brasil, em 2006 são UHE de Santa Clara com um volume de 600 mil m³ de CCR e altura de 67 m e a outra é a UHE Fundão com 210 mil m³ de CCR e altura de 43 m (OLIVEIRA, 2006).

Na Figura 2.6 (a) e (b) são mostradas as obras de barramento da UHE Cana Brava, nas quais foi utilizado CCR em três estruturas: na barragem propriamente dita, na tomada d'água e no vertedouro (BABÁ *et al.*, 2001).



Figura 2.6 : (a) Barragem da UHE de Cana Brava (GO), localizada no Rio Tocantins;
(b) Detalhe da UHE Cana Brava (GO)
(Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

A evolução do uso de CCR no mundo sofreu um aumento significativo de 1996 a 2002. Na Figura 2.7 estão apresentados, de maneira ilustrativa, os continentes e o número de barragens de CCR concluídas em 1996 e em 2002. Ao final de 1996 foram concluídas 157 barragens de CCR em 20 países, já no final de 2002, contava-se com um número igual a 251 barragens concluídas, além de outras 34 estarem em construção em 35 países (DUNSTAN, 2003). Segundo Farias (2006), o país líder em barragens de CCR no mundo é a China com um número considerável de barragens. Em seguida, vem o Brasil com um registro de 50 barragens (MEDEIROS, 2005).

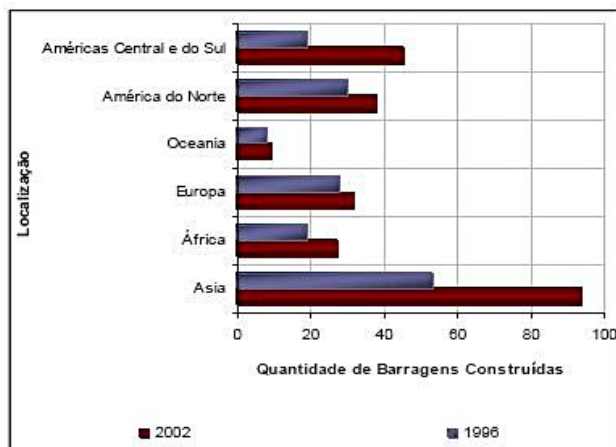


Figura 2.7: Barragens de CCR concluídas ao final dos anos de 1996 e de 2002 (FARIAS, 2006).

2.3. PROCESSO CONSTRUTIVO

Desde o início de sua aplicação, o CCR foi encarado por duas filosofias distintas. Primeiramente, foram utilizadas soluções baseadas nos conceitos de compactação de materiais soltos, erigidas sobre o conceito de controle do teor de umidade ótimo da mistura, de forma a garantir a compactação que obtivesse a maior densidade possível, não se garantindo, neste caso, o total preenchimento dos vazios, e tampouco havia preocupação com os parâmetros de resistência do material e permeabilidade. Por outro lado, surgiu o procedimento de estudo e desenvolvimento baseado na tecnologia de concreto, utilizando seus princípios básicos. Independentemente desta evolução histórica, é claro que a preocupação na definição das propriedades do material deve se focar nas necessidades do empreendimento quanto aos quesitos de construção e projeto, bem como garantir o desempenho especificado. Esta conceituação clara e robusta, desvinculada de qualquer pré-concepção, vem sendo espelhada pelos diversos autores nas publicações mais recentes (PACELLI DE ANDRADE e ANDRIOLO, 1998).

O processo construtivo de CCR necessita de um acompanhamento laboratorial e de campo, através da realização de ensaios de caracterização e suas análises/interpretações para que se criem parâmetros confiáveis e que representem o comportamento da estrutura. Entretanto, é usual a prática de uma campanha de extração de testemunhos para que se confirmem os resultados obtidos com corpos-de-prova moldados em laboratório. O sistema construtivo do CCR é complexo e abrange vários processos como fabricação, transporte, lançamento, adensamento e cura, conforme discutido na seqüência.

2.3.1. Fabricação

O concreto compactado com rolo pode ser produzido tanto em centrais misturadoras do tipo convencional, como em centrais misturadoras contínuas com características específicas para obtenção do CCR. Normalmente utiliza-se um tipo de central gravimétrica, de mistura contínua, ou com baixo tempo de mistura (~ 50 segundos) e cuja linha de produção pode ser dotada de misturadores do tipo forçado (*pug mill*). Há vários tipos e modelos de central para produção de CCR, dependendo da produção requerida e da velocidade de lançamento a ser praticada .

Misturar materiais muito secos em grande quantidade é uma tarefa sujeita à segregação e ao erro de dosagem. O CCR adapta-se a vários tipos de centrais, que serão escolhidas conforme as produções médias e de pico projetadas e das análises econômico-financeiras. Portanto pode-se utilizar:

- centrais convencionais, com balanças de pesagem e misturas de quantidades discretas de concreto (Figura 2.8);



Figura 2.8 : Exemplo de Central convencional utilizada na construção da UHE Mosquitão-GO.

- centrais gravimétricas com balanças de pesagem controladas por centrais computadorizadas (Figura 2.9);



Figura 2.9 : Exemplo de Central gravimétrica de CCR utilizada na construção da UHE Cana Brava – GO.

- centrais contínuas, à imagem de *pug-mills*, com dosagem feita através de correias transportadoras com células de carga controladas por centrais computadorizadas (Figura 2.10).



Figura 2.10 : Exemplo de Central de CCR tipo Pug Mill – Utilizada para Dosagem e Mistura do CCR na UHE Capanda - Angola (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

Em qualquer solução, a particularidade de consistência do CCR, com baixo consumo de água e alto teor de finos, requer a avaliação contínua do processo de mistura e transporte. Alguns controles são fundamentais no processo, tais como:

- controle do teor de cimento da mistura, que pode ser realizado por análise química ou

- pelo ensaio de determinação do calor de neutralização;
- controle do teor da água unitária e massa unitária do CCR fresco pelo DMA (Dispositivo para Determinação da Massa Unitária e água Unitária). Este equipamento foi concebido pelo Eng. Walton Pacelli de Andrade no Laboratório de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., localizado em Goiânia. Tal aparelho permite determinar a quantidade de água de forma expedita, identificando de forma objetiva alguma irregularidade nas centrais. A água estudada na dosagem é necessária à compactação e sua mudança pode gerar porosidade excessiva no terço inferior da camada. O controle da água não deve, portanto, se restringir à saída do misturador, mas ter avaliação ao longo de toda a seqüência executiva (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 2003);
 - controle do teor de água da mistura através do ensaio de umidade no concreto integral e peneirado (# 4,8mm);
 - verificação do assentamento da camada após a passagem de rolos compactadores, para controlar o processo e verificá-lo através da medida da densidade do produto final, logo após a compactação. Esta verificação pode ser feita de maneira simplificada pelos métodos manuais (anel ou membrana plástica), que apesar de imprecisos podem auxiliar no controle da densidade e do grau de compactação, ou através de métodos sofisticados como o densímetro nuclear, onde a densidade é medida pela passagem de radiação pela massa do CCR fresco;
 - utilização de aditivos retardadores de pega para prolongar o tempo de trabalhabilidade do CCR na praça de lançamento e, conseqüentemente, o tempo de compactação em função das possíveis variações climáticas.

As condições de contorno ambientais tem grande influência no teor de umidade do concreto, pois existem perdas durante os processos de transporte e lançamento e essas perdas podem ser maiores ou menores dependendo da umidade do ar, da temperatura ambiente, da insolação e do vento (MARQUES FILHO, 2005). O tempo entre o lançamento e o início da compactação também deve ser controlado para evitar o enrijecimento da massa. Para evitar perdas de resistência devido à correção de água na central, é prudente que se faça uma revisão do traço inicial ou estudar alternativas de traços para minimizar problemas de compactação.

Em regiões com grande variação diária das condições climáticas, como no sudeste e sul do Brasil, as mudanças nas condições da mistura se agravam, gerando maiores cuidados

com a compactação e eficiência do processo. A utilização de aditivos plastificantes tem se mostrado muito promissora, permitindo a correção dos desvios de consistência e ainda permitindo, em alguns casos, diminuição do consumo de cimento (MOSER *et al.*, 1998, ANDRIOLO *et al.*, 1999; MOSER *et al.*, 2003a).

2.3.2. Transporte

O meio de transporte mais usual da central de produção até a frente de lançamento é o caminhão basculante (Figura 2.11-a), o qual é devidamente lavado na rampa que dá acesso à praça de lançamento, conforme Figura 2.11-b. Há casos em que se utiliza correia transportadora (Figura 2.12) até o ponto de carregamento dos caminhões, podendo chegar até a frente de trabalho. Também pode-se utilizar um sistema múltiplo de transporte, através de correia, tubulação e caminhão. É importante observar que o transporte até a frente de lançamento deve ser conduzido de forma que não ocorra qualquer segregação, contaminação ou secagem.

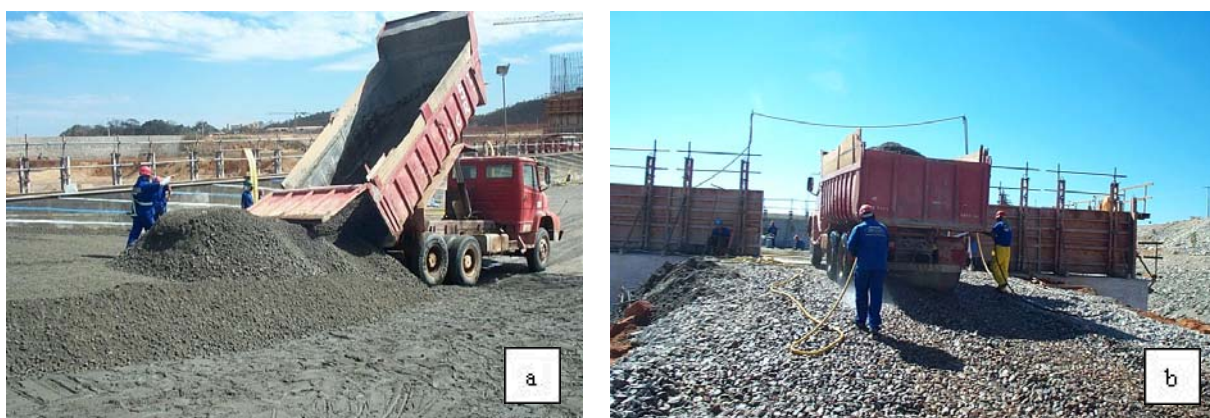


Figura 2.11 : Transporte do CCR em caminhões basculantes. a) Caminhão na praça de lançamento b) Lavagem dos pneus na rampa de acesso AHE Peixe Angical (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).



Figura 2.12 : Transporte por correia - Detalhe da Amostragem para Ensaio - AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

2.3.3. Lançamento

Atualmente, existem dois métodos para lançamento preponderantes do CCR utilizados durante a construção de uma barragem, e a escolha de um dos processos depende do projeto e da localização do empreendimento. Tais métodos estão destacados a seguir.

2.3.3.1. Método Tradicional

O lançamento do concreto em barragens de CCR usualmente é executado em camadas horizontais longas, chamado de método tradicional (Figura 2.13). Este processo resulta em um tempo de exposição da camada anterior de pelo menos 12 horas até a sua cobertura pela camada subsequente. É necessária a aplicação sistemática da argamassa de ligação e, em alguns casos, até tratamento da junta, de modo a garantir a monoliticidade e estanqueidade entre as camadas sucessivas. Outro aspecto é que, quando se utilizam painéis normais de fôrmas, com 2,00 m de altura, o alteamento das fôrmas somente é possível após a conclusão das 6 sub-camadas de 0,33 m, totalizando desta forma a altura de 2,00 m das fôrmas, conforme apresentado na Figura 2.14 (BATISTA *et al.*, 2001).



Figura 2.13 : Lançamento do CCR em camadas horizontais longas (método tradicional) – UHE Cana Brava – GO.

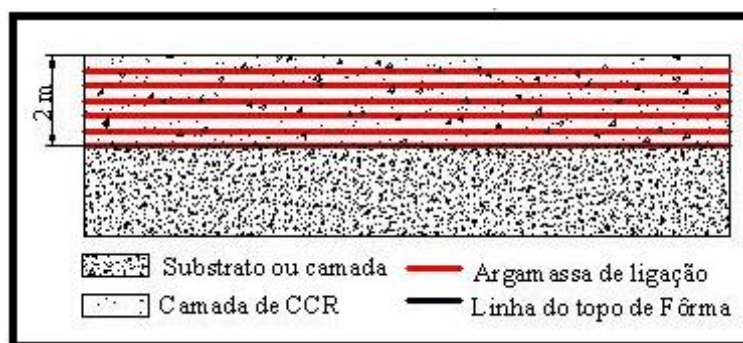


Figura 2.14 : Método Tradicional - 6 sub-camadas com $h = 0,33$ m (BATISTA et al., 2001).

2.3.3.2. Método Rampado

Outro método de lançamento é o rampado (Figura 2.15), utilizado pela primeira vez no Brasil na construção da UHE Lajeado (Figura 2.16). O método utiliza uma camada de CCR executada em rampa com altura variável entre 1,80 m a 3,00 m, com subcamadas de 30 cm a 35 cm de altura. As subcamadas são consecutivamente executadas em rampa cuja declividade pode variar de 7% a 10%, o que resulta em uma superfície de exposição reduzida, possibilitando assim a cobertura completa da frente de concretagem em no máximo 4 horas, tornando desnecessária a aplicação da argamassa de ligação entre subcamadas (BATISTA *et al.*, 2001).

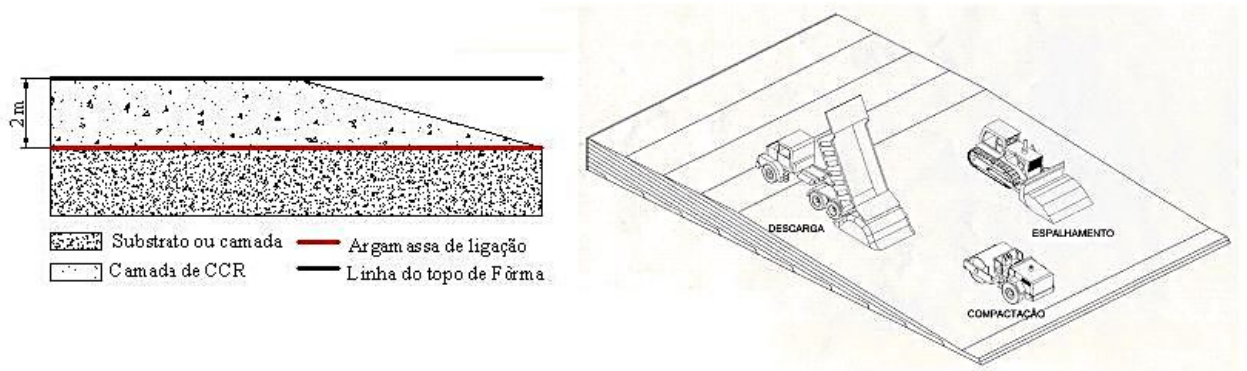


Figura 2.15 : Método Rampado - Subcamadas contínuas com $h = 0,33$ m (BATISTA et al., 2001)



Figura 2.16 : Camada de CCR executada em rampa; UHE Lajeado - TO.

GRAÇA *et al.* (2003) ainda indicam que a aplicação da argamassa de ligação somente é necessária no trecho da camada rampada em contato com a camada anterior de 2,00 m, conforme mostrado na Figura 2.17.



Figura 2.17 : Método rampado; Colocação da argamassa de ligação no trecho da camada rampada em contato com a camada anterior; AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A)

Outro aspecto importante, segundo GRAÇA *et al.* (2003), é que com o avanço das sub-camadas rampadas, a altura total das fôrmas é rapidamente atingida, o que possibilita a antecipação no seu alteamento, o que é feito com empilhadeira ou guindaste e a otimização do seu uso. Antes do lançamento do CCR, o CCV de face é lançado com caminhão betoneira, acompanhando a geometria da rampa, caso se adote esta solução para garantia da estanqueidade a montante.

No método tradicional a forma do paramento de montante pode ter altura variável, mas geralmente é de 2,00 m, sendo seu alteamento feito somente quando se executa o número de camadas para atingi-la. A fôrma de jusante pode variar a altura de 0,30 m a 0,90 m (mais utilizadas).

Após a descarga no local de lançamento, o espalhamento é feito com trator de esteira, sem que provoque qualquer segregação. O controle da altura da camada deve ser efetuado topograficamente, e ter como referência as marcas indicativas da altura da camada pintada na forma (Figura 2.18) ou com auxílio de nivelamento a laser. Ao final do espalhamento, a superfície deve apresentar-se com características plana e regular.



Figura 2.18 : Método rampado; Controle da altura da camada, tem como referência as marcas indicativas pintadas na forma - AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

O espalhamento do CCR é realizado com trator de esteira do tipo D4, D6 ou D8. Este equipamento possui uma lâmina com dente curto e permite fazer o nivelamento da camada operando nos dois sentidos (para frente e para trás). A camada deve ficar a mais nivelada possível para facilitar a compactação do CCR, e na complementação do nivelamento da camada, devido às dificuldades de espaço para manobras do trator, o espalhamento é realizado manualmente. A seqüência de espalhamento pode ser observada na Figura 2.19 (a), (b) e (c).



Figura 2.19 : (a) Espalhamento do CCR com trator de esteira do tipo D6;
(b) nivelamento da camada com o trator de esteira operando de ré;
(c) complementação do nivelamento manual da camada – AHE Peixe Angical - TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

Quando o lançamento for interrompido, por um período superior ao tempo estabelecido em especificação ou definido em pista experimental, a junta de concretagem, em ambos os métodos (tradicional e rampado) é tratada e a retomada do lançamento do CCR é precedida de aplicação de argamassa de ligação na extensão preconizada em projeto, com espessura de 0,5 cm a 2 cm.

Com o objetivo de evitar a ocorrência de fissuras de retração térmica, em barragens são previstas juntas de contração entre os blocos do maciço de CCR, sendo as mesmas espaçadas tipicamente a cada 15 m, chegando a atingir até 20 m ou mais dependendo do projeto. Estas juntas são colocadas durante o lançamento, definidas em projeto e normalmente executadas utilizando uma lona (lona plástica) envolta a uma placa de aço ou madeira. O conjunto lona / placa é posicionado na camada durante o espalhamento do CCR e logo em seguida, com auxílio de uma pá carregadeira, a placa é retirada, permanecendo apenas a lona embutida no concreto, conforme apresentado na seqüência de execução da junta na Figura 2.20 (a), (b), (c) e (d).



Figura 2.20 : (a) Posicionamento da junta de contração; (b) detalhe do trator cobrindo o conjunto lona / placa; (c) espalhamento de CCR na região da junta; (d) retirada da placa - UHE Lajeado – TO (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

2.3.4. Adensamento

Imediatamente após o espalhamento e regularização da superfície, inicia-se o adensamento do CCR (Figura 2.21-a), através de rolos compactadores vibratórios. O número

de passadas do rolo vibratório, para se obter a densidade especificada, é definido em pista experimental, em função das características do rolo, altura de camada, características de dosagem do CCR, entre outros parâmetros. Normalmente este valor situa-se entre 06 e 10 passadas e é definido em função do grau de compactação do CCR e do tipo do equipamento (INTERTECHNE, 1998). Em regiões como proximidade dos paramentos de montante e jusante, junto às paredes das galerias e ao redor de peças embutidas, poços de aeração, elevador e acessos, podem ser utilizados compactadores manuais, placas vibratórias ou pequenos rolos conforme Figura 2.21-b.



Figura 2.21 : (a) Adensamento do CCR. (b) mini rolo compactador – Compactação do CCR próximo ao paramento de montante (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

O tipo do equipamento mais comum utilizado na compactação mecânica do CCR é o rolo compactador vibratório autopropelido liso (Figura 2.22-a). Primeiro deve ser executado uma passada fechada sem vibração para a selagem de toda a camada. O número de passadas fechadas deve ser executado conforme o obtido na pista experimental, com o rolo vibrando na sua capacidade ideal de compactação, de modo que seja obtida a massa específica úmida mínima para garantir o grau de compactação preconizado na especificação técnica. Durante a compactação de uma faixa, o rolo deve sobrepor a faixa adjacente numa largura mínima de 30 cm, conforme Figuras 2.22-b e 2.22-c, e a velocidade ideal do rolo é entre 5,6 e 6,0 km/h (INTERTECHNE, 1998). Durante a compactação, o rolo não deve fazer manobras e nem parar sobre o concreto.



Figura 2.22 : (a) Detalhe do rolo compactador vibratório autopropelido; (b) detalhe da faixa de compactação; (c) detalhe da sobreposição das faixas numa largura mínima de 30 cm – AHE Peixe Angical – TO (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

2.3.5. Cura

Após a compactação, a superfície acabada deve ser mantida sob névoa úmida até que o concreto exposto seja coberto pela camada subsequente. Em caso de exposição prolongada, a partir da fase de endurecimento, o CCR passa a ter sua cura feita da mesma forma que o concreto convencional.

A cura do CCR com névoa úmida pós compactação é realizada através de nebulização, que consiste em manter apenas uma neblina para evitar a evaporação da água do concreto. Este procedimento, no Brasil, em geral é realizado de duas formas distintas:

- ✓ nebulização do CCR através de processo manual: dispositivos (espingardas ou nebulizadores ligados à rede de ar e água). Deve ser utilizado um vaporizador de modo a deixar a superfície na condição saturada seca. Para evitar encharcamento, o uso de mangueira d'água deve ser evitado (Figura 2.23-a);
- ✓ nebulização do CCR através de processo mecânico: trator agrícola adaptado com nebulizador (Figura 2.23b).



Figura 2.23 : Nebulização do CCR; (a) Processo manual: dispositivos (espingardas ou nebulizadores ligados à rede de ar e água); (b) processo mecânico: trator agrícola com nebulizador acoplado. (Foto cedida por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

Nas Figuras 2.24 e 2.25 está apresentado um comparativo de produtividade e custos entre os métodos de lançamento tradicional e rampado, levando-se em consideração o custo de mão-de-obra, equipamentos e formas utilizados na construção da pista experimental da UHE Lajeado. Nota-se que, para essa obra, o método de lançamento rampado apresentou uma economia significativa em relação ao tradicional (BATISTA, 2002).

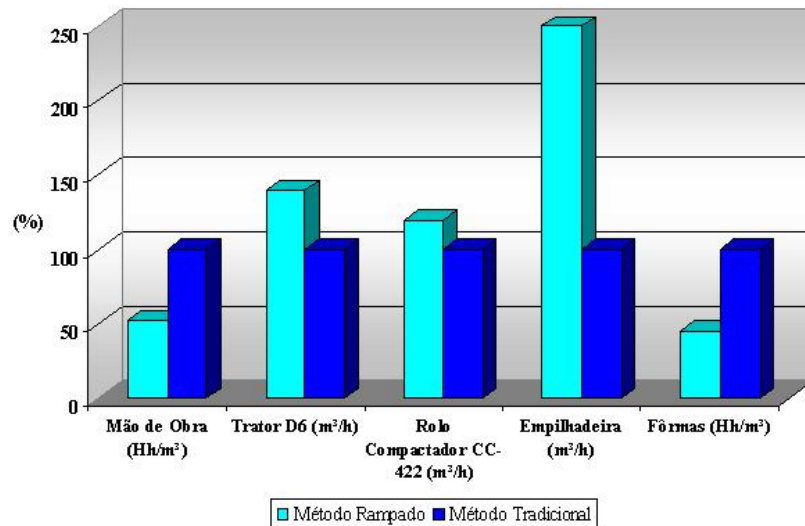


Figura 2.24 : Comparativo da Produtividade entre o método Tradicional e o rampado (BATISTA, 2002).

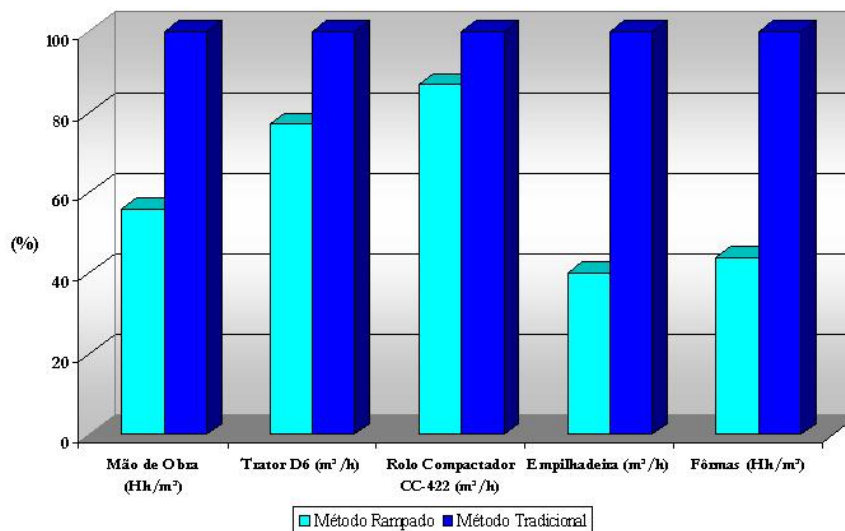


Figura 2.25 : Comparativo de Custos entre o método Tradicional e o rampado (BATISTA, 2002).

2.4. APLICAÇÕES EM APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS

Devido a suas características peculiares, o CCR é indicado para construções multicamadas, podendo ser aplicado em pavimentos e barragens. Sua principal aplicação, hoje no Brasil, é a construção de barragens e obras de recuperação de empreendimentos de barramentos. Com a utilização de materiais pozolânicos mais nobres, como a sílica ativa, outra área que pode se beneficiar com a utilização do CCR é a de pavimentos de concreto. Em alguns estudos já desenvolvidos no Laboratório de FURNAS Centrais Elétricas, em Goiânia, por meio de pista experimental, obteve-se resistência à compressão da ordem de 40 MPa aos 28 dias, com dosagem utilizando 180 kg/m³ de cimento e 14,7 kg/m³ de sílica ativa (LACERDA, *et al.*, 2006).

Tem-se também a aplicação de CCR para repotenciação de obras hidráulicas, cada vez mais de grande valia, tendo em vista que a crescente demanda de água e energia nem sempre pode ser suprida pela construção de novas barragens e hidrelétricas em tempo hábil. A ampliação de usinas é, geralmente, mais econômica e rápida que a construção de uma nova obra quando possível (ONUMA *et. al.*, 1995).

A versatilidade do CCR nos dias atuais tem impulsionado o seu uso em vários tipos de projetos. Segundo Andriolo (1998), o CCR pode ser aplicado a barragens de qualquer dimensão e para qualquer função. Pode ser aplicado, essencialmente, como substituto do concreto massa convencional, sendo também adequado para as seguintes situações:

- ✓ proteção de margens de canais, lagos e reservatórios em lugar de rip-rap ou gabiões;
- ✓ lançamento de grandes blocos, praças ou áreas pavimentadas;
- ✓ fundações massivas e lajes de fundação;
- ✓ proteção e reforço de taludes de barragens de solo e enrocamento;
- ✓ reparos de emergência;
- ✓ proteção de crista de barragens de terra;
- ✓ reabilitação de barragens de terra e de concreto;
- ✓ aumento da altura de barragens existentes;
- ✓ construção de vertedouros de emergência, para proteção contra galgamento;
- ✓ construção de contra-fortes incorporados a barragem de concreto para reforço;
- ✓ reconstrução.

A tecnologia do concreto compactado com rolo tem desenvolvido e transformado de forma vertiginosa o cenário mundial das construções de barragens e pavimentos, modernizando os conceitos sobre os processos construtivos, além de se mostrar uma técnica competitiva com os métodos já consagrados.

A diversificação da aplicação do CCR pode ser observada na Figura 2.26, onde foi utilizado na construção de viveiros de camarão na Paraíba. São os primeiros construídos em CCR no mundo. Segundo o proprietário do viveiro, o objetivo é evitar problemas comuns a viveiros tradicionais, feitos em argila, em que a cada despesca, a produção é interrompida para limpeza. Com o CCR, depois de três horas da despesca pode-se reutilizar o tanque normalmente, pois neste caso, bastam vassouras e jatos de água para realização da limpeza, ao passo que os viveiros de argila exigem aplicação de calcário e adubação. Ganha-se em produtividade e economia, evitando assim gastos com manutenção (ABCP, 2005).



Figura 2.26 : Criadouro de camarões na Paraíba: Utiliza CCR como recurso para construção de seus viveiros (ABCP, 2005).

2.5. APLICAÇÕES EM PAVIMENTOS

O CCR utilizado para pavimentação tem um consumo de cimento que pode variar de 40 kg/m³ a 380 kg/m³, em função do tipo e das exigências de desempenho específicas de cada aplicação deste material. Quando utilizado com um teor de cimento baixo, o CCR apresenta-

se com uma aparência semelhante à Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), muito utilizada em camadas de base ou sub-base de pavimentos rígidos e semi-rígidos com o objetivo de aumentar o módulo de elasticidade das camadas subjacentes ao revestimento. Já com consumos mais elevados de cimento e preparado com uma curva granulométrica adequada, o CCR apresenta-se, após o adensamento, com uma aparência de concreto convencional (ABREU, 2002).

A utilização do concreto na construção de pavimentos data do século XIX. Uma das primeiras aplicações de concreto que mais se assemelha ao CCR em pavimentos que se teve notícia foi realizada na Escócia, em 1865 (JOFRÉ, 1990). Em 1894, George Bartholomew, em Bellefontaine, estado de Ohio (EUA), teve a iniciativa de construir o que se pode definir como o primeiro pavimento de CCR, devido a sua consistência seca e ter sido aplicado pelo processo de compactação (PASKO, 1998). Posteriormente, por volta de 1910, em Grand Forks, Dakota do Norte (EUA), o CCR também foi utilizado em pavimentação urbana. Desde 1944 esta alternativa tecnológica é utilizada na Inglaterra (CARVALHO, 1995; ANDRIOLO, 1998).

Algumas obras que podem ser consideradas emblemáticas são: caminho rural na Bélgica, em 1935, pista experimental na rodovia US 441 (EUA), em 1950; rodovias no Texas, Carolina do Sul e outros estados americanos entre 1950 e 1960; além de vários pavimentos industriais, estradas e aeroportos entre 1960 e 1990 (EUA); pavimentos de ruas, urbanizações, estradas vicinais e rodovias na Espanha entre 1970 e 1990. Somam-se a estes, pavimentos em CCR de alta resistência na Austrália entre os anos de 1986 e 1990, além de registros de pavimentação em CCR no Japão, Suécia, Noruega, Canadá, Alemanha, Argentina, Chile, Uruguai e África do Sul (PITTA e DIAZ, 1995; ANDRIOLO, 1998; ABREU, 2002).

No Brasil, existem alguns registros históricos da utilização do CCR em pavimentos desde o ano de 1946, na pavimentação do Vale do Anhangabaú. Em 1950 houve a pavimentação do aeroporto de Congonhas (SP) e alguns pavimentos no Rio de Janeiro (RJ) no ano de 1954 (ANDRIOLO, 1998). Também foram executadas algumas obras pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (RS), em 1972, aplicando o CCR como base de pavimento asfáltico em vias urbanas (CARVALHO, 1995). Existem registros de utilização de CCR como base de pavimento de concreto convencional em Santa Catarina (SC), revestimento de ruas em Salvador (BA), Pelotas (RS) e São Paulo (SP) (PITTA e DIAZ, 1995).

Na capital paulista (SP) em 1989, foram pavimentadas algumas vias urbanas com CCR, nos Bairros de São Mateus e Santana (ANDRIOLO, 1998). Em 1991, foi realizada

pavimentação urbana utilizando o CCR como base e revestimento nas cidades de Itajaí e Criciúma, no estado de Santa Catarina (TRICHÊS, 1995). Em 2001, no Departamento de Apoio e Controle Tecnológico - DCT.T de FURNAS Centrais Elétricas S.A., localizado em Aparecida de Goiânia (GO), foram utilizadas 13 diferentes dosagens de CCR para concretagem (Figura 2.27-a) de 13 trechos de ruas localizadas em suas dependências, com o objetivo verificar a viabilidade quanto à minimização dos custos do CCR na sua execução e até mesmo o custo/benefício ao longo do tempo. A área pavimentada foi de 3500 m², sendo utilizado um volume de 536 m³ de CCR, (Figura 2.27-b) (ANDRADE *et al.*, 2002).



Figura 2.27 : Concretagem experimental de CCR para camada final de pavimento rodoviário, realizada em FURNAS, Aparecida de Goiânia (GO): (a) lançamento do CCR; (b) compactação do CCR (Fotos cedidas por FURNAS Centrais Elétricas S.A.).

De acordo com Abreu (2002), são grandes as vantagens apresentadas pelo CCR na construção de pavimentos, sendo cada vez mais estudado em centros de pesquisas renomados desta técnica, como a Universidade de Sherbrooke (Canadá) e o DCT.T (Brasil). Dentre suas principais vantagens, destacam-se a rapidez e a praticidade de aplicação em relação às alternativas de pavimentação, já consagradas. Outro fator importante do CCR, é que seus materiais constituintes são encontrados com certa facilidade em qualquer região do país, e a sua produção pode ser realizada em centrais misturadoras de concreto, centrais dosadoras de concreto, e usinas contínuas de agregados, solo-cimento e asfalto. A pesar da consistência seca, o transporte e o lançamento do CCR podem ser realizados em caminhões betoneira e/ou caminhões basculantes (RIBEIRO, 2005).

2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CCR

O CCR deve ser entendido como um concreto que se difere por ser:

- ✓ produzido em centrais de mistura contínua;
- ✓ transportado e lançado por caminhões;
- ✓ espalhado por tratores de esteiras;
- ✓ adensado em camadas da ordem de 0,3 m por rolos compactadores;
- ✓ método que proporciona elevada capacidade de produção e de construção, reduzindo prazos em relação ao concreto convencional e, conseqüentemente, gerando redução de custos.

2.6.1. Razões ou Vantagens do Uso de CCR

Segundo Lacerda *et al.* (2006), a maior vantagem do CCR sobre os outros tipos de concreto, para aplicação em determinadas estruturas, é a possibilidade de redução e otimização do custo e do tempo de construção devido à mecanização do processo de lançamento do concreto. As principais vantagens estão destacadas a seguir:

- ✓ produtividade superior à de outros processos;
- ✓ redução do custo (Cronograma reduzido);
- ✓ mão-de-obra otimizada e de fácil adaptação;
- ✓ aproveitamento de novos materiais;
- ✓ maior fluência (menor probabilidade de fissuras de origem térmica);
- ✓ satisfação dos clientes que utilizaram o CCR;
- ✓ credibilidade no meio técnico;
- ✓ modernização dos processos executivos;
- ✓ menor interferência das condições climáticas no lançamento.

O menor custo do CCR pode ser atribuído ao uso de equipamentos de grande produção, redução do consumo de materiais de custo mais elevado e redução sensível no uso de formas, além da simplificação e redução na infra-estrutura de apoio (ANDRIOLO, 2002). Além disso, a técnica do CCR permite que haja redução de riscos de fissuração térmica e de reação álcali-agregado devido, principalmente, ao baixo consumo de cimento.

2.6.2. Desvantagens do Uso de CCR

Apesar do CCR se apresentar como uma técnica vantajosa e competitiva, alguns fatores podem torná-lo desvantajoso em relação a outros tipos de projeto, tais como:

- ✓ ausência de agregados próximos á obra;
- ✓ região da obra com disponibilidade de argila e com baixo índice pluviométrico;
- ✓ indisponibilidade de equipamentos de fabricação, espalhamento e compactação;
- ✓ menor oferta de empregos;
- ✓ região da obra distante do fornecedor de materiais cimentícios.

Diante do que foi exposto neste capítulo, constata-se que o CCR é uma realidade no meio técnico e a tecnologia aplicada a estruturas de concreto, evoluiu de forma extraordinária, mais precisamente para implantação de projetos de estruturas hidráulicas que necessitam de grandes volumes de concreto.

As experiências de sucessos e insucessos acumuladas durante a construção de barramentos hidráulicos no mundo todo, mostram a necessidade de utilização de argamassa de ligação entre camadas de CCR, de forma a garantir a aderência e a estanqueidade da estrutura, entretanto, nota-se uma carência de uma padronização dos processos construtivos que fixem parâmetros mais confiáveis.

A relevância em se estabelecer estes parâmetros para definir os intervalos de lançamento entre camadas de CCR, no intuito de minimizar o emprego da argamassa e o domínio desta tecnologia, tem incentivado pesquisadores e grandes centros tecnológicos a buscarem novos paradigmas que possam elucidar as diversas dúvidas geradas ao longo das construções dos diversos tipos de estruturas que utilizaram o CCR como material de construção.

3. CONCRETO COMPACTADO COM ROLO COMO MATERIAL PARA PESQUISAS EM LABORATÓRIO

Durante a implantação e construção de um projeto de uma obra de CCR até a sua conclusão, existe ou deveria existir uma sistemática que prevê a realização de todos os programas de caracterização de materiais e das propriedades mecânicas, elásticas, térmicas e visco elásticas do CCR, ou seja, todo o processo deverá estar associado e caracterizado por um rigoroso sistema de controle de qualidade, realizado por um laboratório de competência reconhecida.

Nas últimas duas décadas, o CCR tornou-se uma alternativa rápida e economicamente viável. Devido a este fato um grande número de empreendimentos surgiu e conseqüentemente várias dúvidas foram levantadas, fazendo com que os grandes institutos de pesquisas, pesquisadores e estudiosos no campo da tecnologia do concreto voltassem a sua atenção para as seguintes questões, dentre outras:

- Quais são os volumes máximos permissíveis?
- É uma estrutura estável?
- Qual altura de camada?
- Qual método de dosagem mais apropriado?
- Que tipo de tratamento de juntas de construção?
- Quais são as características do material?
- Há geração de tensões de origem térmica?
- É durável?
- É impermeável?

Os investimentos atualmente realizados no Brasil e em outros países, em ensaios e controle de qualidade, bem como as várias obras já construídas, demonstram que a solução em CCR é uma alternativa atraente e válida sob o ponto de vista técnico / econômico, conforme citado por Medeiros (2005).

Após a escolha de um empreendimento e a adoção de uma solução em CCR, surge a necessidade de se fazer um estudo prévio das características da rocha disponível na obra,

verificar a sua potencialidade quanto às reações deletérias e verificar a disponibilidade de fornecimento de outros materiais para a confecção de concreto, com o objetivo de estabelecer condições e parâmetros necessários para a sua utilização.

3.1. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

De acordo com a PCA (1987), barragens de concreto são projetadas essencialmente para estabilidade com relação a tombamento e escorregamento e verificação do estado de tensões. A tensão de cisalhamento entre camadas de CCR é um fator influente, especialmente em barragens altas com um paramento de jusante íngreme. A resistência à compressão não é geralmente um fator de controle, exceto por sua influência na tensão de cisalhamento. Terremotos induzem acelerações às barragens, as quais podem tender a aumentar as cargas horizontais e reduzir o peso efetivo das estruturas e também exigir resistências à compressão mais altas.

A percolação é também uma consideração importante de projeto. Enquanto que algum nível de percolação pode ser tolerado e considerado como não afetando a segurança das barragens, a percolação excessiva pode trazer problemas. Métodos para minimizar a percolação podem incluir misturas de CCR com alto conteúdo de pasta, adequada aderência em juntas e uso de elementos impermeabilizantes a montante (PCA, 1987).

3.1.1. Estabilidade ao Tombamento

Para a estabilidade ao tombamento, as seções transversais de barragens são geralmente dimensionadas considerando a base totalmente comprimida e a subpressão na base em condições normais de carregamento e ao longo de juntas, variando entre a pressão hidrostática total nas faces de montante e de jusante, até alguma relação da diferença entre estas pressões na região dos drenos, denominada fator de intensidade, que depende de critérios de projeto (PCA, 1987).

Mason (1988) cita como valores usuais do fator de intensidade adotados em projetos de usinas hidrelétricas para pressão na linha de drenos, a faixa de 0,25 a 0,50 e refere-se ainda a duas importantes entidades americanas envolvidas com problemas de barragens:

- ✓ USBR - Bureau of Reclamation estabelece a subpressão reduzida na linha de drenos igual à subpressão de jusante acrescida de um terço da diferença entre as subpressões de montante e de jusante;
- ✓ TVA – Tennessee Valey Authority estabelece um valor mais baixo de subpressão para a linha de drenos, de um quarto da diferença entre as subpressões de montante e de jusante somado à subpressão de jusante.

Estas, apesar de largamente adotadas, não são as únicas, devendo ainda ser observadas pelo projetista as condições de utilização da estrutura no tempo, como a ocorrência de obstrução parcial ou total de alguns drenos, bem como variações nos níveis de água de montante e de jusante.

Quando a estabilidade ao tombamento for essencial para o projeto, os requisitos de volume são dependentes do formato da barragem e da localização dos drenos de fundação.

3.1.2. Estabilidade ao Deslizamento

Ainda segundo PCA (1987), a resistência ao escorregamento em uma seção de concreto relaciona-se à resistência ao cisalhamento e é baseada na coesão do concreto, na tensão de compressão no plano potencial de falha e no coeficiente de atrito interno do concreto. Para efeito de verificação, a minimização do coeficiente de atrito pode variar em função do tamanho e importância da estrutura e das condições de carregamento durante a operação. Os critérios de projeto do USBR estabelecem três condições principais:

- ✓ normais: que ocorrem na maioria dos casos;
- ✓ excepcionais: que ocorrem em cheias excepcionais;
- ✓ limite: que combina as condições normais com o efeito de terremotos.

O coeficiente de atrito depende da rugosidade e sanidade superficial da base de concreto endurecido, e os valores de coesão são obtidos através de ensaios de cisalhamento sob pressões de confinamento variáveis.

3.2. JUNTAS

Uma junta típica de construção em barragens de concreto é uma superfície horizontal do concreto existente que se tornou tão rígida que o concreto da nova camada lançada não pode ser integralmente incorporado ao mesmo. Estas juntas de construção são comumente denominadas de juntas frias (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1993).

Devido ao fato de ser impraticável lançar concreto continuamente em todo o corpo da barragem sem longas interrupções, a formação de juntas de construção é inevitável. Mesmo em construções de CCR, se o tempo decorrido entre o lançamento de duas camadas sucessivas for excessivo, podem ocorrer juntas de construção. Preferencialmente, o concreto no corpo de uma barragem deve ser monolítico e se uma junta de construção não for tratada, quer tenha sido ou não planejada, torna-se uma descontinuidade ou um plano de fraqueza no concreto.

As cargas externas e internas, inclusive aquelas devidas a mudanças de temperatura, impostas contra a barragem monolítica de concreto, são distribuídas através de todo o corpo da barragem e transferidas para sua fundação e ombreiras através de sua resposta elástica, que resulta em deformações e tensões no maciço de concreto.

Uma típica junta horizontal de construção está sujeita a combinação de tensões, compreendendo tensões de cisalhamento horizontal e tensões normais. Próximo à face de montante, a junta estará também sujeita a poro-pressões internas, possivelmente de valores altos devidas ao nível de água do reservatório, atuando sobre uma grande área de concreto adjacente (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1993).

De acordo com Pacelli de Andrade *et al.* (1993), uma junta de construção não pode transmitir completamente estas tensões de uma parte para outra do concreto, a menos que suas resistências de aderência, à tração e ao cisalhamento sejam superiores aos esforços atuantes na seção. A resistência ao atrito em uma junta de construção não tratada não é suficiente para assegurar monoliticidade, porque sem adequada adesividade, a junta tenderá a abrir na face de montante e a pressão da água na junta aberta aumentará as tensões de tração atuantes.

Outra consideração é a permeabilidade da junta de construção não tratada, que é bastante superior à do concreto. As conseqüências indesejáveis da alta permeabilidade de juntas de construção não tratadas são muitas entre as quais pode-se citar:

- elevação da subpressão;
- lixiviação da cal e de outros compostos cimentícios;
- aumento de reações deletérias do tipo álcali-agregado ou álcali-sílica.

Em longo prazo, a permeabilidade pode enfraquecer o concreto, alterar a distribuição de tensões, prejudicar a estabilidade da estrutura, bem como requerer intervenções de reforço e reabilitação. Por essa razão, é necessário preparar, limpar e tratar cada junta de construção antes do lançamento de nova camada de concreto, de forma que a junta apresente adequada resistência de aderência e de cisalhamento para garantir comportamento integralmente elástico de toda a estrutura.

A investigação sobre a existência ou não de tratamento de junta pode ser observada em testemunhos extraídos do concreto da estrutura após a construção.

3.2.1. Requisitos Típicos para Tratamento de Juntas de Construção

A PCA (1987) prescreve que o método construtivo convencional de barragens de concreto de gravidade consiste no lançamento de uma série de blocos ou monólitos. O concreto é lançado em camadas sucessivas até uma altura final de 1,50 m a 3,00 m. Durante a pega do concreto ocorre a sedimentação do material mais pesado, que causa a separação de parte da água da mistura, que é carregada para a superfície do concreto e conhecida como exsudação e que pode carrear materiais finos e formar uma pasta que tende a reduzir a aderência entre camadas subseqüentes e, por esta razão, deve ser completamente removida.

O método construtivo típico de uma barragem de CCR consiste no lançamento e compactação de longas e contínuas camadas, que resulta em mais superfícies expostas que no lançamento convencional. Como a consistência do CCR é mais seca, ocorre pouca exsudação durante o lançamento.

Um método comum de alcançar a aderência adequada é a limpeza da superfície com um jato de água de alta pressão, normalmente efetuado entre uma e três horas após o início da pega do concreto. Em muitos casos, apenas a limpeza superficial é necessária para promover adequada aderência. Em casos em que somente esta limpeza é insuficiente, é lançada uma fina camada de argamassa, correspondente à do traço do concreto usado, sem o agregado graúdo.

Segundo Pacelli de Andrade *et al.* (1993), as especificações típicas para limpeza de juntas de construção, durante o preparo para o lançamento de uma nova camada de concreto, requerem a remoção de todo material solto, lascas, fragmentos de concreto parcialmente soltos ou deteriorados, areia, nata, material orgânico ou contaminado por óleo, compostos selantes, revestimentos deletérios e outros materiais estranhos ou não-conformes.

As práticas correntes de preparação de superfícies horizontais de juntas de concreto massa estabelecem alguns parâmetros balizadores para a atividade de construção:

- ✓ a superfície acabada deve ficar livre de agregados protuberantes e de irregularidades superficiais como pisadas profundas.
- ✓ a superfície final da junta deve resultar plana e, se possível, com uma pequena declividade para facilitar a drenagem.
- ✓ antes da concretagem da camada subsequente, a camada concretada deve ser limpa e devem ser removidos quaisquer agentes contaminantes, inclusive filmes de cura, da superfície concretada. A retirada profunda de material visando expor o agregado graúdo, apesar de resultar em maior área de contato, é considerada desnecessária e um desperdício. A remoção de cerca de 2 mm de material superficial normalmente é considerada satisfatória. A resistência da ligação é obtida pelos grãos do cimento e não pelo agregado exposto.

Enquanto a remoção dos materiais inadequados implica na limpeza da superfície da junta, as especificações raramente incluem padrões para julgamento de rugosidade superficial, gerando discussões sobre preparo adequado da junta ou métodos de tratamento. Existe alguma confusão quanto à definição de materiais inadequados e deletérios, como um fino filme de carbonato de cálcio cristalino que se adere fortemente à superfície do concreto. Qualquer material compatível com cimento Portland e seu processo de cimentação e pega ou que não prejudique a resistência, permeabilidade e durabilidade do concreto é considerado adequado e não precisa ser removido (PACELLI DE ANDRADE *et al.*, 1993).

3.2.2. Métodos para Tratamento de Juntas de Construção

De acordo com Pacelli de Andrade *et al.* (1993), para obtenção de monoliticidade, adequada resistência ao cisalhamento e impermeabilidade, devem ser observados os seguintes

itens no preparo das juntas:

- ✓ a superfície da junta deve ser composta de concreto são e não muito molhado, nem excessivamente compactado;
- ✓ agregados graúdos protuberantes devem ser enterrados na massa antes do endurecimento da argamassa;
- ✓ após o término do lançamento da camada, a superfície deve ser limpa e tornada rugosa por meios mecânicos, corte verde, jato de água de alta pressão ou uma combinação deles.

Os seguintes métodos de tratamento de juntas de construção são usados na construção de barragens:

- Método Mecânico: grandes vassouras rotativas montadas em equipamentos de pneus empregadas em algumas pequenas obras, as vezes associado com corte verde por meio de jato de água de baixa pressão. Sua conveniência e efetividade de custos são questionáveis na construção de grandes barragens;
- Jato de Areia Úmida: empregado em grande número de barragens no mundo e resulta em resultados bons e uniformes, além de poder ser executado em qualquer idade do concreto. Apresenta as desvantagens de ser mais caro que o corte verde ou jato de água de alta pressão, além do que a deposição de areia interfere e atrasa o andamento dos serviços, além de ser prejudicial ao ambiente da obra;
- Corte Verde: consiste na remoção precoce da argamassa superficial por meio de um jato de água de baixa pressão, para expor uma superfície limpa de concreto são, que deve ser executada entre 4 e 12 horas após o lançamento, quando o concreto atinge o final de pega. Apresenta a desvantagem de que, executado muito cedo, cause a perda de agregado e a remoção de uma grande quantidade de argamassa e pasta de boa qualidade. Não é possível preservar a superfície limpa e livre de contaminações, sendo necessária nova limpeza imediatamente antes do lançamento da próxima camada. Muitas vezes requer uma camada de argamassa para adequada adesividade e é um método desvantajoso para intervalos curtos entre lançamentos, na faixa de 3 a 7 dias;

- Jato de água de Alta Pressão ou Hidrojateamento: é a técnica mais utilizada atualmente para tratamento de juntas de construção, apresentando boa qualidade e uniformidade, podendo ser executado imediatamente antes do lançamento da camada seguinte ou até um período de 30 a 45 dias após o lançamento da camada.

3.2.3. Ligação Entre Camadas Sucessivas de CCR

Desde o início do desenvolvimento do CCR, várias dúvidas conceituais foram levantadas, geradas principalmente pela grande quantidade de juntas horizontais. Algumas das principais dúvidas são:

- ✓ envoltória de resistência entre camadas;
- ✓ influência das condições ambientais locais;
- ✓ controle da compactação;
- ✓ métodos de impermeabilização;
- ✓ previsão de propriedades;
- ✓ obtenção de material mais homogêneo.

Uma das maiores dificuldades que persiste em barragens executadas com CCR refere-se ao tempo em que as juntas de construção entre as camadas podem ficar expostas sem que seja necessário aplicar qualquer tipo de tratamento. Tem sido aplicada sistematicamente a argamassa de ligação entre as camadas para prevenir possíveis percolações pelas juntas de construção, uma vez que o intervalo de tempo de lançamento entre duas camadas consecutivas normalmente é da ordem de, no mínimo, 12 horas, o que naturalmente resulta na secagem superficial da camada inferior, levando à necessidade de tratamento. Quando este procedimento não é executado ou é executado de forma incorreta, este fato poderia resultar em percolação pela junta de construção (GRAÇA *et al.*, 2004).

Na grande maioria das barragens construídas com CCR utilizou-se uma argamassa de ligação em toda a extensão da superfície da junta entre camadas, ou em aproximadamente 30% da largura a partir da face montante. Nos prazos superiores a 6 horas para a retomada da concretagem de CCR, é comum o surgimento de juntas entre camadas, cujas propriedades

mecânicas são geralmente inferiores às propriedades do maciço (CASTRO *et al.*, 1998).

Durante a construção da barragem de Capanda no AHE do Médio Kwanza, Angola, superfícies de camadas expostas em até 6 horas (diurno) ou 8 horas (noturno), eram apenas tratadas com jato de ar para a remoção de materiais soltos. Com tempos de exposição maiores do que os valores supracitados e inferiores a 24 horas, a superfície era limpa com jato de ar e aplicado diretamente o concreto de berço. Com o tempo de exposição acima de 24 horas, além do tratamento da junta de concretagem com jato de ar, molhava-se com água e logo em seguida aplicava-se o concreto de berço (NASCIMENTO *et al.*, 1995). Observa-se que a execução de camadas sucessivas formando alturas de concretagem elevadas, em curto intervalo de tempo, implica no conhecimento do comportamento térmico desses blocos formados, para evitar a ocorrência de fissuras.

Hermida *et. al* (2003) afirmam que o máximo intervalo de lançamento entre camadas de CCR, sem utilização de argamassa de ligação, é aquele correspondente ao tempo de início de pega da mistura, o qual é determinado através de uma metodologia que utiliza o equipamento de ultra-som. Este método foi utilizado em diversas obras no continente americano (Zanja Honda, Miel I e Porce III, na Colômbia; Pirris, na Costa Rica; Ralco, no Chile; RompePicos, no México) para definir o tempo de início de pega do concreto, entretanto, não foi mencionado nenhum tipo de ensaio que realmente comprovasse a eficiência da ligação das camadas quanto à aderência e estanqueidade.

Com o evento do método rampado, onde se introduziu uma nova metodologia executiva para o CCR no Brasil (BATISTA *et. al*, 2001), seguindo o exemplo da barragem de Jiang Jiya na China (ZHIDA *et. al*, 1999), a exposição das juntas entre camadas voltou a ser uma preocupação, uma vez que retornava-se à necessidade de se conhecer os tempos limites de exposição, já que uma das principais vantagens desta nova metodologia é exatamente a diminuição da utilização da argamassa de ligação entre as juntas de construção.

Na construção do AHE Peixe Angical, foi executado um maciço experimental com um volume de CCR de 186 m³ lançados em rampa (método rampado) e consumos de cimento de 60 kg/m³, 70 kg/m³, 80 kg/m³, 90 kg/m³ e 100 kg/m³. A execução do maciço foi dividida em várias etapas distintas em função dos tipos de concretos de face utilizados e tinha como objetivos principais a otimização de processos de execução, de equipamentos, de materiais, treinar o pessoal envolvido no processo e obter parâmetros em escala real das propriedades do CCR. Ainda durante a execução do maciço fez-se uma simulação do intervalo de lançamento de 6 h, 12 h e 24 h, em três camadas distintas sem qualquer tipo de tratamento, com o objetivo

de verificar a influência do tempo de exposição da junta quanto à aderência entre uma camada e outra (GRAÇA *et al.*, 2005).

No dimensionamento de barragens de concreto, as juntas entre camadas de lançamento sucessivas são as partes mais críticas em relação à resistência mecânica e à permeabilidade pelo maciço de concreto (SHARMA, 1981; CREAGER *et al.*, 1965; SCHREIBER, 1981; e, VARLET, 1972 *apud* MARQUES FILHO, 2005), fato levado em conta nos diversos critérios de projeto, onde os coeficientes de minoração da coesão são muito superiores àqueles recomendados para o ângulo de atrito, sempre considerando a envoltória de Mohr-Coulomb.

Em barragens convencionais, as juntas horizontais sempre representaram grande preocupação, tanto pela possibilidade de criação de caminho preferencial de percolação, como pelas atividades executivas que garantissem uma adequada ligação entre as camadas de lançamento. Enquanto em barragens utilizando concreto massa convencional tinham camadas, cuja espessura variava em geral entre 2,0 m e 2,5 m, o método construtivo utilizando o CCR estabelece valores entre 0,25 e 0,50m, aumentando consideravelmente a quantidade de juntas horizontais ao longo de toda a barragem. Além deste fato, a consistência extremamente seca necessária à compactação, associada à imagem de fragilidade e fraqueza na ligação entre camadas, também gerou expectativas e insegurança entre projetistas e construtores que inicialmente foram contrários à aplicação em grande escala de soluções utilizando o CCR (MARQUES FILHO *et al.*, 2003).

Segundo a PCA (1987), a completa aderência entre camadas de CCR não tratadas é questionável, pois, alguns dos principais fatores que controlam a ligação entre camadas de CCR são:

a) Condição da Superfície da Junta

Da mesma forma que os concretos convencionais, a superfície do CCR deve ser umedecida, mas não encharcada. Adicionalmente aos benefícios conhecidos da cura úmida, estudos têm mostrado que a cura úmida melhora a aderência, principalmente em idades mais avançadas, porém, o excesso de umidade é prejudicial à evolução da aderência.

Apesar de não ser esperada a formação de nata na superfície do CCR, todo o material solto ou contaminado deve ser removido antes do lançamento da camada subsequente. O uso de jato de água de alta pressão e equipamentos de vácuo, nesta atividade tem sido efetivos, sem afetar a superfície.

Em Willow Creek, a falta de aderência entre camadas e a conseqüente permeabilidade foram atribuídas ao preparo insatisfatório da superfície. Os equipamentos usados para transporte do CCR para as frentes de trabalho rotineiramente depositavam lama, silte e entulho de finos não cimentícios das rampas de acesso na superfície da junta de construção do CCR produzido.

Adicionalmente, manobras acentuadas e o movimento constante dos equipamentos de transporte sobre as camadas lançadas resultaram em arrancamento de concreto e na formação de sulcos na superfície. A situação foi piorada com a repetida molhagem superficial com um caminhão de água. O tráfego constante sobre a superfície molhada resultou em uma camada pouco espessa de material fino desarranjado, moderadamente úmido, com teor baixo ou nulo de cimento.

Para evitar a contaminação do CCR, a lavagem das rodas dos Caminhões basculantes e o uso de correia transportadora têm sido as práticas padrões na maioria das obras de barragens. Outros equipamentos de transporte, espalhamento e compactação do CCR estão alocados permanentemente à área de lançamento, para prevenir a contaminação durante o lançamento. É importante que a superfície seja cuidadosamente mantida limpa antes do lançamento da camada subsequente de CCR.

b) Tempo decorrido entre lançamentos das camadas

Há uma correlação entre tensão de aderência e tempo decorrido entre lançamentos de camadas sucessivas. Outros fatores, como temperatura, condições de cura e dosagem do CCR, inclusive uso de aditivos retardadores de pega e pozolanas, influenciam a tensão de aderência de juntas não tratadas.

Quando um lance de concretagem de CCR é recoberto por outro, antes que inicie a pega, é considerada uma junta fresca ou plástica e que deve resultar em uma junta forte e impermeável, desde que o concreto empregado esteja adequadamente adensado e sem vestígios de segregação. Além deste ponto, uma junta fria começa a ser desenvolvida, resultando em perda de tensão de aderência e aumento das infiltrações. Uma vez formada uma junta fria, é necessária uma camada de ligação para promover aderência e estanqueidade da estrutura.

Uma forma usual é a aplicação do conceito de maturidade da junta em termos de

temperatura e tempo de exposição médios. Por exemplo, se uma junta é exposta a uma temperatura de 15°C durante 10 horas, a maturidade da junta é de 150°C.h.

Não há valores distintos que se apliquem a todas as situações. Por exemplo, uma mistura pobre e seca de CCR lançada em uma zona árida requererá um valor menor de maturidade da junta que outra mistura úmida com maior volume de pasta lançada em condições úmidas. Em geral, os limites para a maturidade da junta têm variado entre 120°C.h e 540°C.h.

Como exemplos de obras que especificaram maturidade de junta, podem ser citadas Barragem de Willow Creek (540°C.h), Barragens de Galesville, Oregon e Stagecoach, Colorado (170°C.h).

Um método alternativo, principalmente para pequenas barragens, é eliminar o fator temperatura e expressar a maturidade da junta somente como o tempo decorrido. Independente do método usado, o projetista deve estabelecer um critério de maturidade de junta baseado em estudos de laboratório ou campo. Na ausência destes estudos, um valor conservador deve ser adotado.

c) Teor de Pasta:

Pasta adequada é necessária para promover ligação entre lances sucessivos. Isto é importante a partir do início de pega da camada inferior. Uma vez endurecido o concreto do lance inferior, a aderência depende do intertravamento da pasta da camada superior na estrutura de poros da pasta da camada inferior. Estudos têm mostrado ligação deficiente entre lances de misturas secas ou com baixos teores de material cimentício.

A consistência do CCR, medida no equipamento VeBê como o tempo que a argamassa leva para preencher os vazios, é denominada “tempo de VeBê” ou “Cannon Time”, variando usualmente entre 15 e 40 segundos (apesar de que atualmente no Brasil já se adota valores inferiores a 15 segundos) e é influenciada pelos teores de água, areia e material cimentício, bem como tamanho e textura do agregado graúdo e também pelo tipo e quantidade de finos.

Algumas misturas de CCR não consolidam bem no ensaio de VeBê, como as muito rígidas, bem como outras com teor de pasta aproximadamente igual ao volume de vazios do agregado e também aquelas com alto teor de finos plásticos.

Um CCR com alto teor de pasta terá mais pasta que a necessária para preencher os vazios e recobrir todos os grãos do agregado. Muitas misturas com alto teor de pasta contém

uma grande quantidade de pozolanas, as quais servem efetivamente para limitar o calor de hidratação no interior da massa. Apesar de que misturas com alto teor de pasta conduzem a uma melhor aderência, o projetista deve também considerar outros fatores, como o efeito térmico, retração por secagem e custo adicional do maior teor de material cimentício.

Uma preocupação com misturas de alto teor de pasta ocorre durante as operações de descarga e compactação, quando a umidade excessiva da mistura causa ocasionalmente sulcos e desprendimento de material da superfície do CCR.

Em solos, esta condição esponjosa significa a presença de excesso de poro-pressão que, se não for aliviada, contribuirá diretamente para a redução da resistência ao cisalhamento. No concreto, umidade excessiva dissipará com a hidratação do cimento e deve ter pequena influência negativa na resistência, caso a compactação seja adequada.

d) Elemento de Ligação:

Em lugar de misturas com alto teor de pasta, a aderência satisfatória pode ser alcançada com a utilização de uma camada de ligação de argamassa ou concreto.

Muitos projetos especificaram camada de ligação com concreto com agregado de dimensão máxima característica de 19 mm e alto teor de argamassa, contendo aditivos plastificantes e retardadores de pega, bem como cimento variando de (235 a 300) kg/m³. Normalmente é especificado um abatimento da mistura entre 10cm e 18cm e espessura da camada de 2,5 cm.

Outros projetos especificam o uso do mesmo concreto da face de montante para as camadas de ligação. Juntamente com a colocação do concreto da face de montante, é feito um espalhamento de uma camada para jusante com comprimento de 1,20 m a 2,40 m. Esta camada controla a infiltração de água por montante, mas não deve ser considerada em nenhuma análise de estabilidade.

Cimento seco e pasta pobre de cimento são usados para ligar camadas horizontais de solo-cimento usado para proteção de taludes. Entretanto, considerando os agregados maiores do CCR, esta solução não é efetiva como elemento de ligação. Estudos conduzidos pelo USBR, comparando várias técnicas de ligação entre camadas, encontraram valores de ângulos de atrito ao escorregamentos pouco menores que 45°, valor normalmente assumido para o CCR.

Foi realizado um estudo conjunto da USBR e PCA para avaliação de dosagens, maturidade de juntas, teor de água, tratamento da interface e condições de cura. Os resultados indicaram para misturas pobres (cerca de 90 kg/m³ de cimento + cinza volante) a necessidade de tratamento da junta de interface para garantia de efetiva ligação entre camadas. Somente um testemunho de um total de quarenta e oito juntas sem tratamento foi recuperado intacto, enquanto que quarenta e dois com argamassa de ligação e quarenta e três com concreto de ligação foram recuperados intactos.

Para misturas mais ricas (cerca de 180 kg/m³ de cimento + cinza volante), aproximadamente a metade dos testemunhos de juntas não tratadas foi recuperada, bem como quase todos os testemunhos das juntas tratadas com argamassa e concreto.

A ligação entre camadas teve um resultado efetivo para aproximadamente a metade das juntas com intervalo entre lançamentos de seis horas e não tratadas, embora com condição de cura úmida.

Dos testemunhos do CCR com juntas não tratadas e intervalo de lançamento de 48 horas, somente dois de um total de doze curados em condição de menor umidade foram recuperados intactos, enquanto que oito de um total de doze curados em condição de maior umidade foram recuperados.

Antes de escolher uma técnica de ligação entre camadas, o projetista deve determinar os requisitos da ligação. A barragem típica inclui um concreto com pouca permeabilidade na face de montante e sistemas de drenagem de fundação e interno.

3.3. MACIÇOS EXPERIMENTAIS

Em grandes empreendimentos de CCR são realizados programas de pré-estudos para definir as características e propriedades dos materiais a serem empregados na construção. Surge, então, a necessidade de se construir um maciço experimental para fazer algumas simulações de lançamento, treinar mão-de-obra, calibrar equipamentos, ajustar dosagens, definir o tipo de tratamento de junta, número de passadas do rolo compactador e outras dúvidas que poderão surgir ao longo da obra.

De acordo com Paulon *et al.* (2004), o processo executivo com CCR impacta em todas as etapas construtivas, pois seus conceitos de execução e controle são particulares e diferem

da prática usual dos concretos convencionais, podendo trazer aspectos a serem avaliados e monitorados ao longo da vida útil da obra.

Os estudos em laboratório para prever o comportamento mecânico e a trabalhabilidade do concreto vêm sendo consolidados ao longo das últimas décadas. As discrepâncias entre a condição de laboratório e de obra são mais acentuadas no caso do CCR, onde os métodos usuais de ensaio não se adaptam facilmente à simulação da compactação por rolo vibratório, da ligação entre camadas e da influência das condições climáticas (PAULON *et al.*, 2004).

Uma alternativa para o processo é a confecção de maciços experimentais de CCR em laboratório, com a finalidade de simular as condições de execução no campo, tanto para barragens quanto para pavimentos rígidos. Através da confecção destes maciços experimentais, é possível obter informações sobre a caracterização dos materiais constituintes do CCR e o desempenho das dosagens aplicadas em campo, conhecendo o comportamento do CCR e facilitando a tomada de decisões, embasada em resultados confiáveis (GALLEGO *et al.*, 1999).

Estes maciços experimentais, na maioria das vezes, são executados pouco antes do início de lançamento do CCR na estrutura definitiva e resolvem as dúvidas levantadas quanto às dificuldades de correlacionar os parâmetros de corpos-de-prova moldados com o material compactado no campo, através de um programa de extração de testemunhos. Porém, são muito onerosos e nem sempre são incorporados à estrutura da barragem.

3.3.1. Vantagens e Objetivos de um Maciço Experimental Confeccionado em Laboratório

Segundo Marques Filho (2005), a confecção de maciços experimentais em laboratório possibilita uma otimização das misturas a serem empregadas nas fases iniciais da obra permitindo, assim, a caracterização das propriedades do CCR fresco e endurecido de forma mais expedita que a utilização de maciços experimentais em obra. Devido a sua facilidade de manuseio, fornecem condições para a realização de diversos ensaios, cuja execução em maciços experimentais confeccionados em obra seria extremamente complexa.

As vantagens deste tipo de simulação em laboratório são elencadas a seguir:

- ✓ verificação do grau de compactação potencial das misturas;
- ✓ avaliação da capacidade de compactação potencial das misturas;

- ✓ avaliação da capacidade de compactação com equipamentos convencionais;
- ✓ avaliação de vários tipos de mistura, podendo ser avaliada a granulometria, teor de materiais cimentícios e finos, utilização de aditivos, entre outros;
- ✓ simulação da execução de faces impermeáveis, ou do acabamento das faces;
- ✓ simulação das condições de ligação entre camadas, podendo-se variar tempo entre camadas sucessivas, bem como simular condições ambientais diversas;
- ✓ simulação de variações das alturas das camadas de concreto.
- ✓ Objetivos principais de um maciço experimental:
- ✓ verificação do desempenho e das propriedades da dosagem de CCR, em especial a sua trabalhabilidade, densidade e resistência;
- ✓ verificação do desempenho dos equipamentos de transporte, lançamento, espalhamento e compactação do CCR;
- ✓ familiarização da equipe de trabalho com o lançamento e a compactação do CCR;
- ✓ definição do número de passadas do rolo vibratório na compactação das camadas de CCR;
- ✓ verificação das propriedades das juntas de construção entre camadas de concretagem;
- ✓ verificação dos procedimentos de lançamento do CCR junto às fôrmas dos paramentos e à fundação/ombreiras, de execução da junção entre o CCR e o CCV e de lançamento da argamassa de ligação.
- ✓ verificação das características das ligações entre o CCR e o CCV.

A Figura 3.1 exemplifica um croqui de um maciço experimental utilizado para construção da UHE Lajeado.

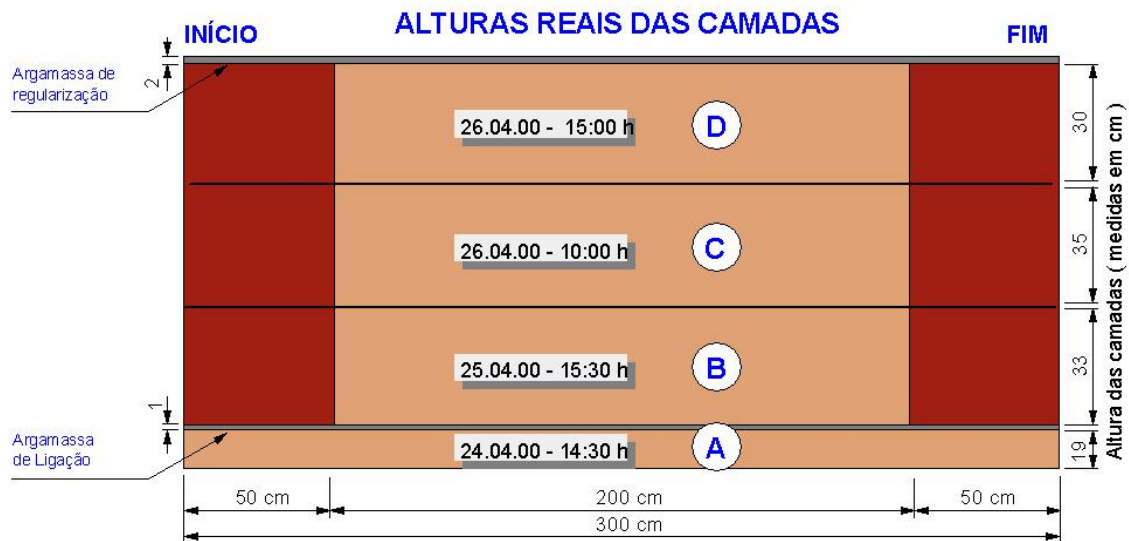


Figura 3.1 : Exemplo de croqui: Maciço experimental para UHE Lajeado.

Esta técnica foi inicialmente tentada no Japão, com a criação de um simulador de compactação, atualmente desativado (MARQUES FILHO, 2005). FURNAS, em Aparecida de Goiânia (GO), local onde foi realizada esta pesquisa, possui um equipamento que simula a execução de um maciço experimental de CCR, totalmente automatizado, e possibilita a variação da frequência e energia de vibração do rolo e velocidade do percurso. O equipamento, totalmente informatizado, monitora a compactação da camada (além do acompanhamento com o densímetro nuclear) e permite a visualização, em tempo real, das condições de execução do maciço.

Apesar de todas as vantagens e objetivos supracitados, a execução de maciços em laboratório não exclui a necessidade de aterros experimentais no campo (Figura 3.2), com as condições exatas de início de obra, ou muito próximo destas (MARQUES FILHO, 2005). Os maciços de campo têm as seguintes características importantes:

- ✓ compatibilização dos equipamentos de campo às condições preconizadas nos ensaios de laboratório;
- ✓ avaliação dos processos de controle de qualidade;
- ✓ treinamento das equipes (qualificação da mão-de-obra);
- ✓ ajustes de materiais e de dosagens de CCR e argamassas a serem utilizados;
- ✓ definição de altura de camada;
- ✓ definição de número de passadas do rolo compactador;

- ✓ definição do intervalo de lançamento para que se possa prescindir da argamassa de ligação;
- ✓ determinar o tipo de tratamento das juntas, em caso de interrupção no lançamento com tempo superior ao preconizado nas especificações técnicas;
- ✓ extração de testemunhos para calibrar os ensaios em corpos-de-prova moldados, complementando os ensaios e correlações obtidas durante os processos de dosagem e de execução de pista em laboratório.



Figura 3.2 : Pista experimental em obra – UHE Cana Brava – GO.

Através da confecção do maciço experimental, são obtidos testemunhos extraídos na camada e na interface entre camadas, para realização de variados ensaios com CCR, utilizados para otimizar as misturas sob diversas condições, além de determinar potencialmente os diversos parâmetros físicos de interesse, criando condições para simular correções que serão requeridas durante a execução real da obra. Na Figura 3.3 (a) e (b), pode ser visualizada a extração de testemunhos de um maciço experimental de CCR.



Figura 3.3 : (a)Extração de testemunhos do maciço; (b) aspecto dos testemunhos retirados para ensaios. Estudo de aderência entre camadas de CCR.

Segundo Gallego *et al.* (1999), através da extração de testemunhos dos maciços podem ser realizados estudos preliminares das propriedades do CCR, tais como: resistência à compressão, resistência à tração, permeabilidade, módulo de elasticidade, fluência, capacidade de deformação, propriedades térmicas, cisalhamento e massa unitária.

De acordo com o que foi abordado neste capítulo, pode-se afirmar que apesar da aplicação intensiva de CCR em aproveitamentos hidráulicos nas últimas duas décadas, e dos trabalhos de pesquisa já realizados, ainda existem vários pontos a serem estudados, mostrando que este material ainda é um nicho importante de pesquisa para a Engenharia Civil. As dificuldades de obtenção de resultados no protótipo devidas à rapidez do processo executivo, aos grandes volumes aplicados e à dinâmica da obra criam espaço para o uso de maciços experimentais de laboratório, que podem fornecer subsídios para a caracterização do material nos estados fresco e endurecido, bem como parâmetros para análise deste material quanto a sua durabilidade.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste Capítulo são apresentadas todas as etapas do programa experimental por meio de um fluxograma, bem como as variáveis controláveis, fatores não controláveis, condições fixas do estudo, caracterização dos materiais e confecção dos maciços experimentais de CCR.

Todos os estudos referentes ao programa experimental, desde a caracterização dos materiais até a confecção dos maciços experimentais e a extração de testemunhos para a execução dos ensaios deste trabalho, foram realizados no Laboratório de Concreto do Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., localizado em Aparecida de Goiânia-GO.

Na Figura 4.1 está apresentado um fluxograma do programa experimental definido para o desenvolvimento dos trabalhos.

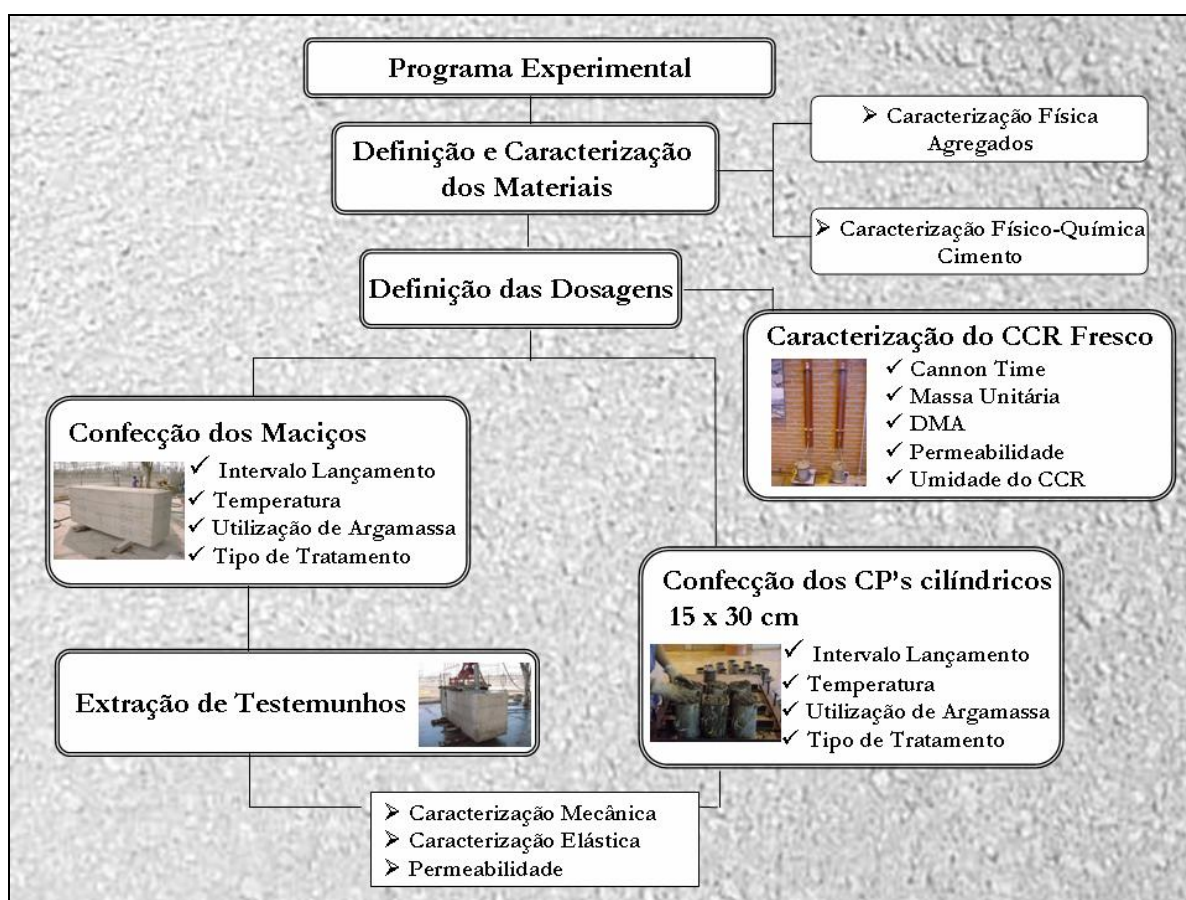


Figura 4.1 : Fluxograma do programa experimental.

4.1. CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA – VARIÁVEIS E CONDIÇÕES FIXAS

Com vistas à obtenção de parâmetros que caracterizem as juntas geradas durante o processo construtivo de uma estrutura de CCR, este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades do CCR nos estados fresco e endurecido, utilizando resultados de maciços experimentais executados em laboratório.

4.1.1. Variáveis

De acordo com os estudos propostos por Marques Filho (2005), para atender os objetivos desta pesquisa foram adotadas as seguintes variáveis:

4.1.1.1. Intervalo de Lançamento de 0h, 04h, 08h, 12h, 24h, 48h

A determinação dos intervalos de lançamento foi definida com base na grande maioria das especificações técnicas de obras de CCR, onde são previstos os tipos de tratamento em função do tempo de paralisação do lançamento do CCR, devido a algum problema técnico ou fenômeno da natureza e de acordo com os estudos apresentados por Marques Filho (2005).

4.1.1.2. Temperatura de Exposição da Junta a 25°C e 45°C

A temperatura de 25°C foi estabelecida em função de uma média anual que ocorre na maior parte dos estados brasileiros e a de 45°C foi adotada para verificar se há influência de uma temperatura mais elevada nas propriedades determinadas na junta.

4.1.1.3. Utilização de Argamassa de Ligação

A utilização de argamassa de ligação é uma prática já consagrada no meio técnico e o seu uso depende do intervalo de lançamento entre camadas. Atualmente a maioria das especificações técnicas recomenda a sua aplicação em toda superfície da junta ou em

aproximadamente 30% da mesma, a partir da face de montante, caso haja alguma paralisação por um período superior a 04 horas. Com base nestas recomendações, a utilização de argamassa de ligação foi adotada para os intervalos de lançamento de 08h, 12h, 24h, 48h.

4.1.1.4. Tipo de Tratamento da Junta (Jato de Ar Comprimido ou Apicoamento)

Foram adotados dois tipos de tratamento para a junta, jato de ar comprimido ou apicoamento executado com o auxílio de um escarificador de agulhas pneumático para simular o tratamento com jato de alta pressão utilizado em campo. Os tratamentos foram estabelecidos também em função dos intervalos de lançamento e das práticas executadas em campo para tratamento de juntas de CCR.

4.1.1.5. Idade de Ensaio

Para os corpos-de-prova moldados, foram estabelecidas as idades comumente utilizadas de 07, 28, 90, 120, 180 e 365 dias e para os testemunhos extraídos foram adotadas as idades de ensaio de 120 e 180 dias, pois o CCR devido ao baixo teor de aglomerante e o tipo de cimento utilizado, necessita de um tempo mínimo de 90 dias para adquirir resistência para suportar o desgaste da sondagem rotativa sem que haja segregação e lavagem.

4.1.1.6. Tipo de Corpo-de-prova

Durante a execução de cada maciço experimental foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos moldados com dimensões de 15 cm x 30 cm e após 90 dias, foi realizada uma campanha de extração para obtenção de corpos-de-prova extraídos. Os 02 tipos de corpos-de-prova foram utilizados para caracterizar as propriedades do CCR na camada e na junta entre camadas e adicionalmente, verificar sua influência nas propriedades do CCR estudado.

4.1.2. Condições fixas

As condições fixas estabelecidas nesta pesquisa foram o tipo litológico do agregado, o tipo do cimento, as dosagens do CCR e da argamassa de ligação, o Cannon Time, o grau de compactação, a altura de camada e a cura.

4.1.2.1. Tipo Litológico do Agregado Utilizado

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado o agregado do tipo litológico Basalto. Os agregados graúdos com dimensões máximas características de 25 mm e 50 mm e o agregado miúdo de 4,8 mm (areia artificial) com um teor de material pulverizado em torno de 20%, todos procedentes da UHE Dona Francisca, localizada no estado do Rio Grande do Sul.

4.1.2.2. Tipo de cimento

Foi estabelecido o cimento do tipo CP IV-32, adquirido do mesmo fornecedor da obra da UHE Dona Francisca.

4.1.2.3. Dosagens de CCR e de Argamassa de Ligação

As dosagens do CCR e da argamassa de ligação utilizadas em todas as etapas da pesquisa foram definidas a partir dos estudos de dosagem realizados antes e durante a execução da UHE Dona Francisca. De acordo com as especificações técnicas da obra, o CCR deve ter um consumo de cimento de 90 kg/m³ e a argamassa de ligação um traço 1:5 (cimento:areia), e ambas as dosagens devem utilizar um aditivo plastificante retardador.

4.1.2.4. Cannon Time

O cannon time foi estabelecido em 20 ± 5 segundos, conforme preconizado nas especificações técnicas da UHE Dona Francisca.

4.1.2.5. Grau de Compactação

Grau de compactação é a relação entre a massa específica obtida e a massa específica teórica. De acordo com especificações da UHE Dona Francisca, não pode ser inferior a 98% , ou seja, o CCR deve ter uma massa específica mínima de 2.500 kg/m³.

4.1.2.6. Altura de Camada

A definição da altura da camada final, após compactação, ficou estabelecida em 0,30 m para todos os maciços, com exceção da camada I (regularização), que ficou com 0,20 m.

4.1.2.7. Cura

Todos os maciços foram mantidos até a idade de extração (90 dias) em câmara úmida com controle de temperatura, em 23°C \pm 2 °C e de umidade com valores iguais ou superiores a 90%, assim como, os corpos-de-prova moldados e extraídos até a idade de ensaio.

4.1.3. Fatores não controláveis

Os fatores não controláveis deste programa experimental foram:

- ✓ equipe de trabalho para a preparação dos materiais e confecção dos maciços;
- ✓ equipamentos de ensaio utilizados para determinar as propriedades do CCR fresco e endurecido;
- ✓ equipamentos utilizados para extração e corte dos testemunhos;
- ✓ operadores do equipamento de compactação
- ✓ Temperatura e umidade ambiente.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Todos os materiais (cimento, aditivo, agregado graúdo e agregado miúdo) foram recolhidos na obra UHE Dona Francisca e em seus fornecedores e transportados para Goiânia, onde foram caracterizados física e quimicamente.

4.2.1. Cimento

Para a realização dos estudos de dosagens de CCR e argamassa na UHE Dona Francisca e para a confecção das pistas experimentais em laboratório, foi utilizado o cimento do tipo CP IV-32, com uma adição de aproximadamente 35% de cinza volante, como pode ser visto na sua composição química. Na Tabela 4.1 estão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização do cimento com suas respectivas metodologias, bem como os limites estabelecidos pela NBR 5736 (ABNT, 1991).

Tabela 4.1 : Caracterização do cimento CP IV-32 utilizado nesta pesquisa.

Propriedades Determinadas		CP IV-32	Método	Limites NBR 5736/1991
Massa específica (g/cm ³)		2,73	NBR NM 23/2001	---
Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	0,5	NBR 11579/1991	≤ 8,0
	Resíduo na peneira 325 (%)	3,6	NBR 9202/1985	---
	Área específica (cm ² /g)	4.020	NBR NM 76/1998	---
Tempo de Pega (h:min)	Início	3:40	NBR NM 65/2003	≥ 1:00
	Fim	5:50		≤ 12:00
Água de Consistência - Pasta (%)		32,2		---
Expansão em Autoclave (%)		0,1	ASTM C-151/2000	---
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	15,1	NBR 7215/1996	≥ 10,0
	7 dias	20,7		≥ 20,0
	28 dias	32,6		≥ 32,0 ≤ 49,0
	91 dias	46,5		≥ 40,0
Componentes Químicos (%)	Perda ao fogo	3,49	NBR 9203/1985	≤ 4,5
	Resíduo insolúvel	35,98		---
	Trióxido de enxofre (SO ₃)	2,30		≤ 4,0
	Óxido de magnésio (MgO)	5,60		≤ 6,5
	Dióxido de silício (SiO ₂)	37,40		---
	Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	3,39		---

Propriedades Determinadas		CP IV-32	Método	Limites NBR 5736/1991	
Componentes Químicos (%)	Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	8,31	NBR 9203/1985	---	
	Óxido de cálcio (CaO)	37,08		---	
	Óxido de cálcio livre (CaO)	0,90		---	
	Álcalis	Óxido de sódio (Na ₂ O)		0,09	---
		Óxido de potássio (K ₂ O)		1,70	---
	Totais	Equiv. alcalino		1,21	---
		Sulfato de cálcio (CaSO ₄)		3,91	---

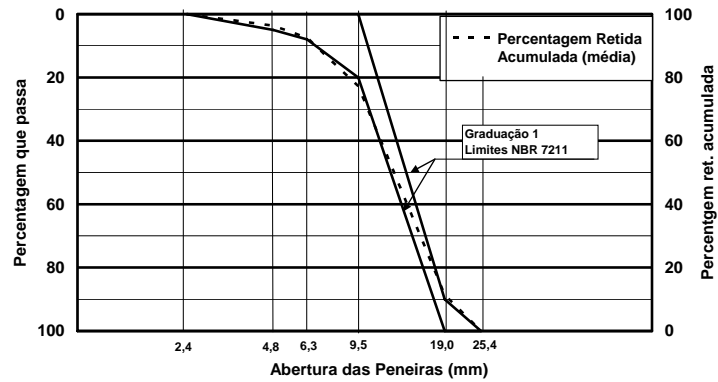
4.2.2. Agregados Graúdo e Miúdo

Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados graúdo e miúdo, ambos do tipo litológico basalto, e as metodologias utilizadas, estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 : Caracterização dos agregados graúdo e miúdo.

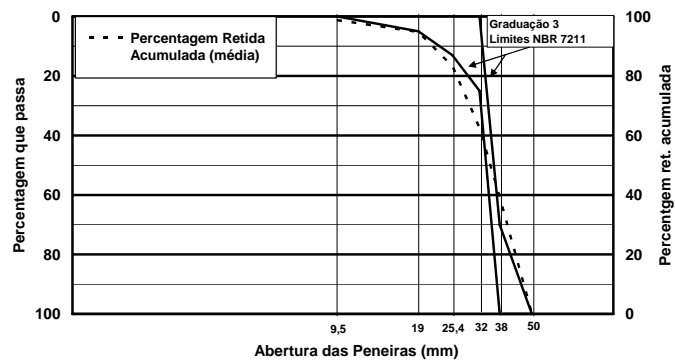
Propriedades Determinadas	Método	Basalto		
		25 mm	50 mm	Areia Artificial
Absorção (%)	NBR NM 53/2003	1,11	0,79	---
Massa Específica S.S.S.(g/cm ³)		2,84	2,83	---
Módulo de Finura	NBR NM 248/2003	6,85	8,31	2,95
Absorção (%)	NBR NM 30/2001	---	---	1,30
Massa Específica S.S.S.(g/cm ³)	NBR NM 52/2003	---	---	2,81
Massa Unitária – Estado Solto (g/m ³)	NBR 7251/1982	1,52	1,46	1,71
Índice de Forma (c/e)	NBR 7809/2006	2,8	2,7	---
Teor de Material Pulverulento (%)	NBR NM 46/2003	---	---	20,36

Nas Figuras 4.2 a 4.4 estão ilustrados as curvas granulométricas dos agregados.



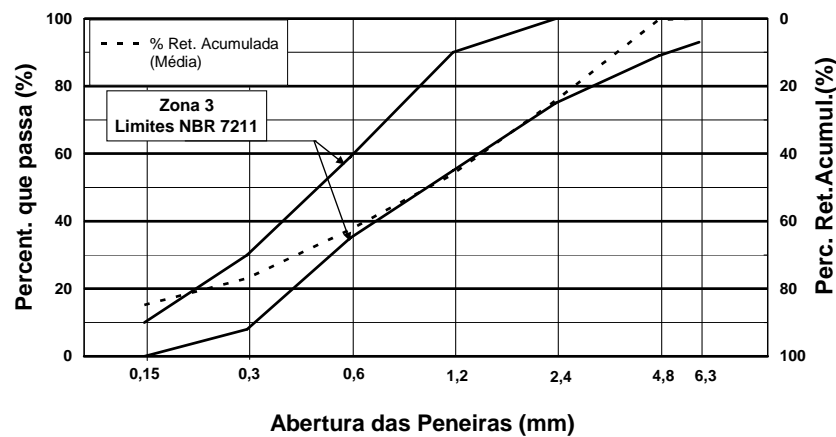
Peneiras		1a. determinação			2a. determinação			% ret. acum. médio	Limites NBR 7211	
nº	mm.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.		% retida acumulada	
1"	25,4	-----	0,0	0	-----	0,0	0	0	0	10
3/4"	19	730,0	10,2	10	1040,0	12,5	13	11	80	-
3/8"	9,5	4760,0	66,7	77	5400,0	65,1	78	77	92	100
1/4"	6,3	1110,0	15,5	92	1240,0	15,0	93	93	95	-
3/16"	4,8	270,0	3,8	96	320,0	3,9	97	96	100	100
Fundo (g)		270,0	3,8	100	290,0	3,5	100	100	100	100
8	2,4	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
16	1,2	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
30	0,6	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
50	0,3	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
100	0,15	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
Fundo (g)		-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
Massa Total(g)		7140,0			8290,0			-----		
Mód. de finura		6,83			6,87			-----		
Módulo de finura médio:		6,85								

Figura 4.2 : Curva Granulométrica do Agregado Graúdo Basalto 25 mm.



Peneiras		1a. determinação			2a. determinação			% ret. acum. médio	Limites NBR 7211	
nº	mm.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.		% retida acumulada	
2"	50	-----	0,0	0	-----	0,0	0	0	0	
1 1/2"	38	7260,0	40,5	41	7580,0	37,8	38	39	0	- 30
1 1/4"	32	4120	23,0	64	4750	23,7	62	63	75	- 100
1"	25,4	3450	19,3	83	4450	22,2	84	83	87	- 100
3/4"	19	2170	12,1	95	2200	11,0	95	95	95	- 100
3/8"	9,5	710	4,0	99	780	3,9	99	99		
3/16"	4,8	0,0	0,0	99	0,0	0,0	99	99		
Fundo (g)	200	1,1	100		300	1,5	100	100		
8	2,4	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
16	1,2	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
30	0,6	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
50	0,3	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
100	0,15	-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
Fundo (g)		-----	0,0	100	-----	0,0	100	100		
Massa Total(g)		17910			20060			-----		
Mód. de finura		8,33			8,29			-----		
Módulo de finura médio:		8,31								

Figura 4.3 : Curva Granulométrica do Agregado Graúdo Basalto 50 mm.



Peneiras		1a. determinação			2a. determinação			% ret. acum. médio	Limites NBR 7211 Zona 3 (Areia Média) % retida acumulada		
nº	mm.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.	massa retida(g)	% retida indiv.	% ret. acumul.				
3/8"	9,5	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	
1/4"	6,3	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0	7	
4	4,8	2,3	0,3	0	2,3	0,3	0	0	0	11	
8	2,4	203,0	23,4	24	201,3	24,5	25	24	0	25	
16	1,2	184,3	21,3	45	182,6	22,3	47	46	10	45	
30	0,6	140,8	16,2	61	137,8	16,8	64	63	41	65	
50	0,3	140,8	16,2	77	102,9	12,5	76	77	70	92	
100	0,15	67,8	7,8	85	66,0	8,0	84	85	90	100	
Fundo (g)		128,2	14,8	100	127,3	15,5	100	100			
Massa Total(g)		867,2			820,2			-----			
Mód. de finura		2,93			2,97			-----			
Módulo de finura médio:		2,95									

Figura 4.4 : Curva Granulométrica do Agregado Miúdo Areia Artificial.

4.3. DOSAGEM DO CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) E DA ARGAMASSA

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada uma dosagem de concreto compactado com rolo e uma de argamassa de ligação, derivadas dos estudos realizados para a construção da UHE Dona Francisca. Nas Tabela 4.3 e 4.4 estão apresentados os dados de composição das dosagens de CCR e da argamassa empregadas para a confecção dos maciços experimentais, bem como as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido preconizados nas especificações técnicas da obra.

Tabela 4.3 : Dados de composição do traço de CCR utilizado.

Material	Consumo (kg/m ³)
Cimento	90
Água	143
Areia Artificial	1083
Brita 25 mm	679
Brita 50 mm	553
Aditivo Plastificante Retardador	1,08
<i>Cannon Time</i> (s)	20 ± 5
Grau de compactação (%)	98 %
Resistência à Compressão aos 180 dias (MPa)	7,5 MPa

Tabela 4.4 : Dados de composição do traço da argamassa utilizada

Material	Consumo kg/m ³
Cimento	326
Água	299
Areia Artificial	1630
Aditivo Plastificante Retardador	3,26
Relação água/cimento (a/c)	0,91
Consistência (Flow) (cm)	45

4.4. ENSAIOS ESPECIAIS PARA BARRAGENS DE CCR

Com base nos controles de qualidade realizados nas várias obras já construídas, com a grande variabilidade dos materiais que surgem durante a construção e com a influência do clima local, fica evidente que os ensaios utilizados comumente em barragens de concreto convencional têm restrições quando utilizados de forma indiscriminada em obras de CCR, passando, assim, a existir a necessidade de se realizar controles mais rigorosos que possam representar de forma confiável e segura todos os fatores que impactam no bom desempenho de uma estrutura de CCR.

Alguns ensaios realizados para o controle de qualidade do CCR não estão contemplados em norma brasileira. Com essas lacunas existentes, utilizam-se normalizações e recomendações internacionais ou de organizações com notória especialização neste tipo de

empreendimento.

4.4.1. Ensaios Com Concreto Fresco

4.4.1.1. Cannon Time e Massa Unitária do CCR Compactado Através do Aparelho de Vebê

O CCR é um concreto que possui uma consistência mais seca em relação ao concreto convencional, intrínseca do próprio material. Atualmente, os ensaios mais utilizados para verificação da trabalhabilidade (*Cannon Time*) e massa unitária do CCR se baseiam no ensaio de Vebê modificado, descritos no procedimento de ensaio FURNAS 01.006.011 (FURNAS, 2005). Nestes ensaios são utilizados uma mesa vibratória e um recipiente de acrílico para possibilitar a visualização do adensamento e preenchimento dos vazios do concreto para a definição do tempo de vibração. Este recipiente tem a mesma forma interna e a mesma mesa vibratória do consistômetro de Vebê, com volume igual a 9,2 litros, correspondendo a um cilindro com diâmetro igual a 24,2 cm.

A determinação do *Cannon Time* consiste em preencher, com o concreto fresco, o recipiente de acrílico e determinar o intervalo de tempo decorrido entre o acionamento da mesa vibratória e a formação da película de argamassa nas bordas do recipiente. A presença da argamassa visível em toda a superfície aparente mostra o preenchimento dos vazios do concreto, sendo um indicativo de sua compactação.

Quanto à massa unitária, esta é determinada logo após os ensaios de trabalhabilidade, mantendo-se a mesa ligada por 120 segundos e fazendo-se a razão entre a massa do concreto fresco compactado e seu volume. Determina-se a massa do CCR adensado, logo em seguida, preenche-se o vazio com água até seu preenchimento total e novamente é determinada a massa do recipiente. A diferença entre estas medidas representa a massa da água inserida, com a qual facilmente se determina o volume de água adicionado. Conhecendo-se o volume e a massa do recipiente vazio, obtém-se o volume e a massa ocupado, pelo concreto após o adensamento com mesa vibratória, e como consequência determina-se sua massa unitária compactada.

Para o cálculo da massa unitária adota-se a equação (1), a seguir discriminada:

$$\gamma_p = \frac{w_c}{v_c} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

γ_p = massa unitária do concreto, em kg/m³.

w_c = massa do concreto, kg.

v_c = volume do concreto, m³.

Nas Figuras 4.5 (a) e (b) e 4.6 (a) e (b) está mostrada a seqüência do ensaio para determinação do *Cannon Time*, em aparelho de acrílico transparente desenvolvido pelo Eng. Ruy Dikram Steffen no Laboratório de Materiais e Estruturas, LAME, localizado na cidade de Curitiba, Paraná, onde pode ser observado preenchimento dos vazios (PACELLI DE ANDRADE, 1996).

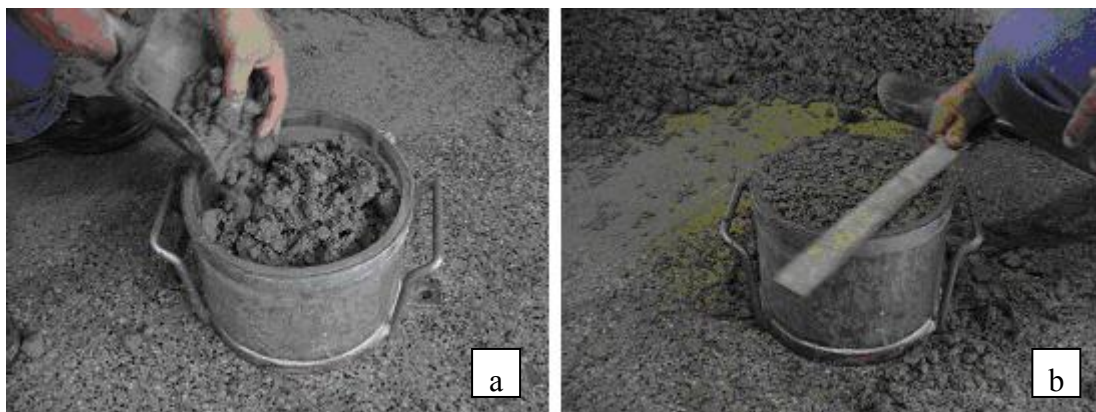


Figura 4.5 : Cannon Time. (a) preenchimento do recipiente; (b) arrasamento do topo.

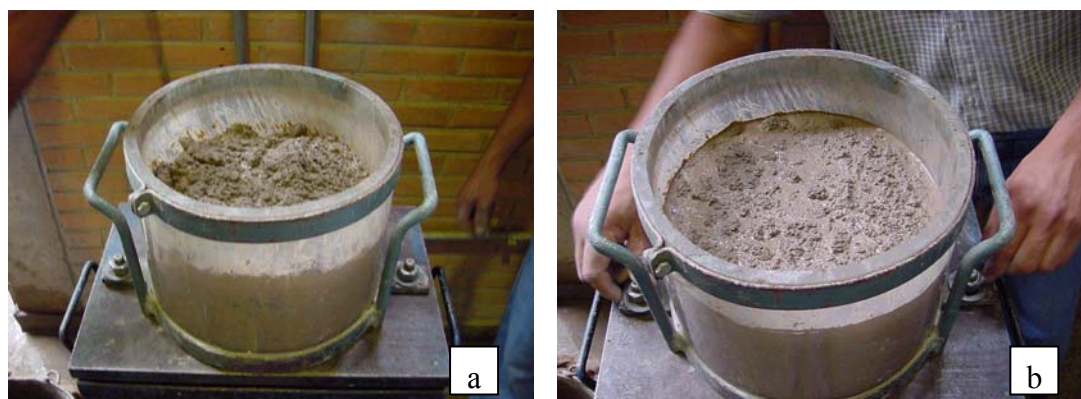


Figura 4.6 : Cannon Time. (a) vibração; (b) vazios preenchidos.

Na Figura 4.7 (a) e (b) está apresentado o procedimento da fase de medição para a

determinação da massa do recipiente com CCR e o preenchimento do vazão superior com água para determinação da massa unitária.

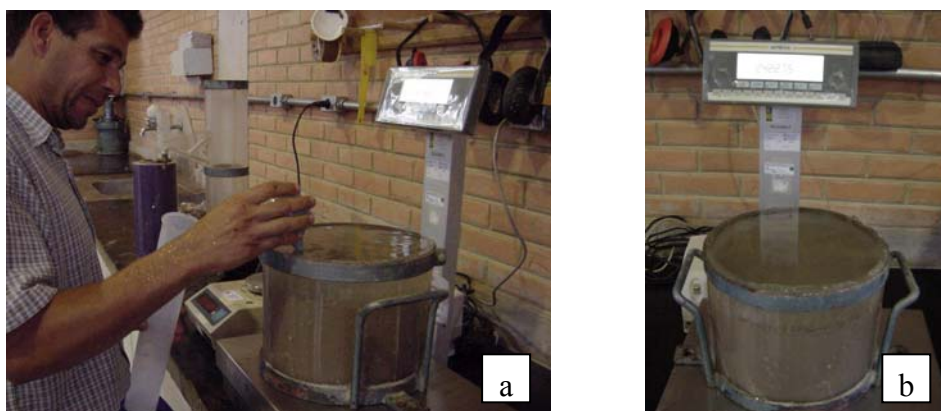


Figura 4.7 : Massa unitária. (a) colocação de água; (b) massa final com água.

4.4.1.2. Massa Unitária e Teor de Água Unitária Através do Aparelho de DMA

O aparelho DMA – Dispositivo Medidor de Água - é um dispositivo cilíndrico de acrílico, provido de um sifão, cujo volume de água até este nível é conhecido, denominado volume de equilíbrio. Este equipamento permite a medição da massa unitária teórica do CCR e da água unitária na mistura (ANDRADE *et al.*, 2003).

Nas Figuras 4.8 a 4.10 está mostrada a execução do ensaio utilizando o aparelho DMA com a amostra de CCR. Conhecendo-se a massa da água e o volume de equilíbrio, calcula-se o volume da amostra de concreto, cuja massa foi anteriormente determinada, conforme mostrado nestas Figuras, permitindo a obtenção da massa unitária do CCR. Através de curvas de calibração (Massa Unitária \times Água Unitária, Massa Unitária \times Massa Específica Teórica, Massa Unitária \times Umidade Teórica) para cada dosagem a ser utilizada, obtém-se o teor de água unitária. Estas curvas são definidas a partir de ensaios em que se mantêm constantes o consumo de cimento e o teor de areia do CCR, variando o consumo de água.

A execução deste ensaio é muito simples, não necessitando de nenhum equipamento especial, podendo ser utilizado com precisão na obra. Como é importante o controle rigoroso do teor de umidade do CCR, a utilização do DMA nas várias fases da execução fornece uma ferramenta importante para o controle de qualidade do campo (ANDRADE *et al.*, 2003).

Primeiramente, define-se o volume de equilíbrio preenchendo o dispositivo com água até aproximadamente 20 cm acima do sifão, logo em seguida, abre-se o sifão para liberar o excesso de água e nivelar com o mesmo. A água remanescente no DMA corresponde ao

volume de equilíbrio. Com o dispositivo limpo e isento de qualquer partícula de água, coloca-se uma amostra representativa de CCR de aproximadamente 3.500 gramas, conforme apresentado na Figura 4.8 (a) e (b).

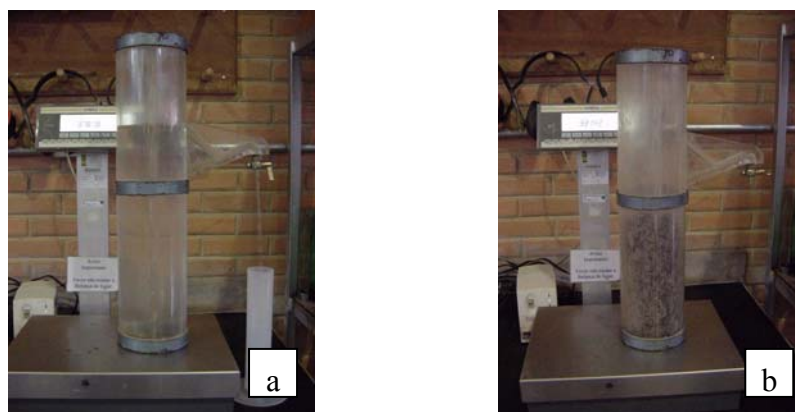


Figura 4.8 : DMA. (a) determinação do volume de equilíbrio; (b) determinação da massa da amostra.

Adiciona-se a metade do volume de equilíbrio e através de uma agitação manual procura-se eliminar o máximo de bolhas de ar, conforme está apresentado na Figura 4.9 (a) e (b).

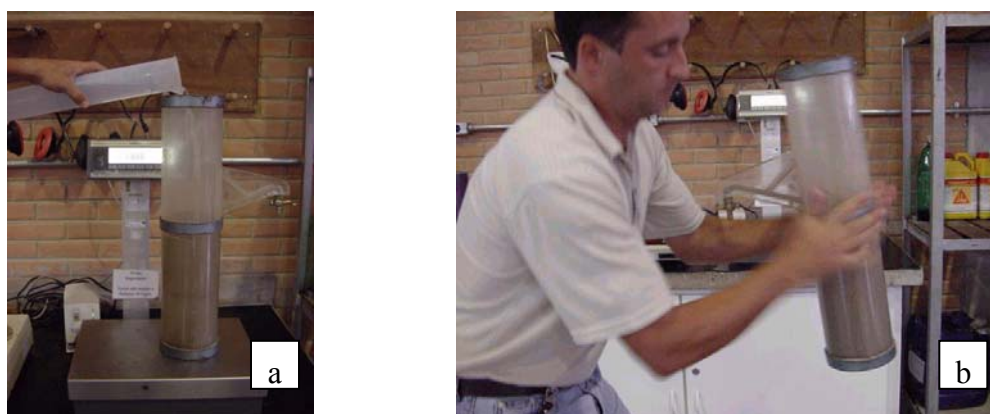


Figura 4.9 : DMA. (a) preenchimento com água; (b) agitação manual da mistura.

Logo em seguida, é colocado o restante da água de equilíbrio no DMA, deixando-o em repouso por um período de 5 a 10 minutos para que possa ocorrer a sedimentação dos finos do CCR e, por último, abre-se o sifão para coletar o volume de água deslocado, que corresponde numericamente ao volume de CCR presente no dispositivo, conforme está apresentado na Figura 4.10 (a) e (b).

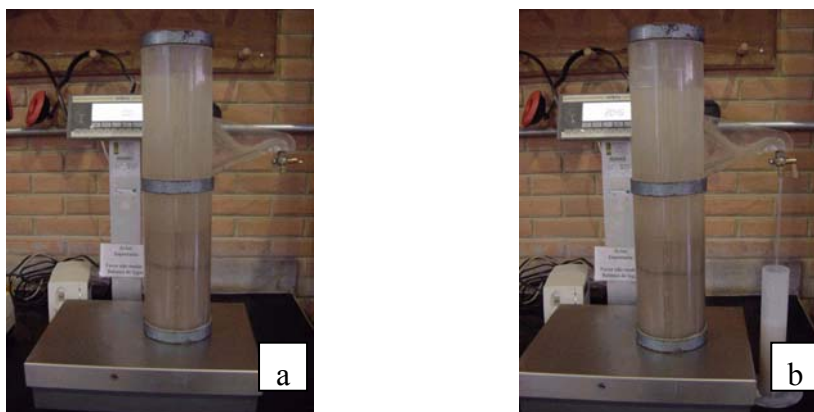


Figura 4.10 : DMA. (a) repouso para sedimentação; (b) abertura do sifão para determinação do volume deslocado.

De posse da massa do CCR e do volume deslocado correspondente ao volume do concreto no dispositivo, pode-se determinar a massa unitária utilizando a equação (2):

$$M_{\text{esp}} = \frac{M_c}{V_{\text{deslocado}}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

M_{esp} = Massa específica do CCR.

M_c = Massa específica do concreto inserida no DMA.

$V_{\text{deslocado}}$ = Volume de água deslocado.

4.4.1.3. Permeabilidade à Água do Concreto Fresco

A permeabilidade é a propriedade que permite a passagem de um fluido através de sólidos sobre pressão. A sua determinação no estado fresco possibilita uma análise prévia do comportamento de misturas de concreto, analisando o fechamento do esqueleto granular, fornecendo um parâmetro auxiliar à dosagem e ao controle de campo (VICARI *et al.*, 1998).

O método de ensaio foi desenvolvido pelo Laboratório de Concreto de FURNAS Centrais Elétricas S.A., procedimento de ensaio FURNAS 01.011.002 (FURNAS, 2006), sendo este uma adaptação do ensaio de permeabilidade em solos finos, em permeâmetro de carga variável (ABGE, 1996).

Os passos para execução do ensaio incluem a moldagem e adensamento de corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de 15,4 cm de diâmetro por 17,6 cm de altura, em mesa vibratória por 120 segundos; instalação do corpo-de-prova no conjunto de equipamentos que forma o permeâmetro; aplicação de água sob pressão e medição dos tempos necessários para a percolação de volumes pré-determinados de água.

Nas Figuras 4.11 a 4.13 está apresentada a execução do ensaio desde a sua moldagem em corpo-de-prova, colocação do feltro e do seixo rolado, colocação de água na bureta e o conjunto que forma o permeâmetro de carga variável utilizado no ensaio.

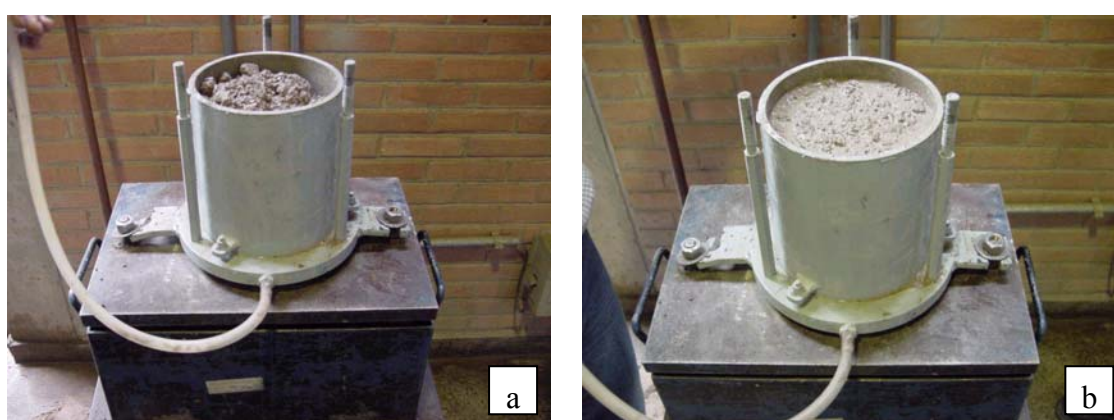


Figura 4.11 : Permeabilidade do concreto fresco. (a) moldagem de corpo-de-prova; (b) adensamento de Corpo-de-prova.



Figura 4.12 : Permeabilidade do concreto fresco. (a) filtro com cascalho; (b) colocação de água na bureta.



Figura 4.13 : Ensaio de permeabilidade do concreto fresco em andamento.

A duração do ensaio é de 30 minutos e o valor do coeficiente de permeabilidade é calculado, segundo a Lei de Darcy, pela equação (3):

$$k = C \cdot \left(\frac{aL}{A\Delta t} \right) \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

K = Coeficiente de permeabilidade, em m / s;

C = Correção pela temperatura da água;

a = Área da seção transversal da bureta, em m² ;

L = Altura do corpo-de-prova ensaiado, em m;

A = Área da seção transversal do corpo-de-prova, em m² ;

h₁ = Carga hidráulica inicial, em m;

h₂ = Carga hidráulica final, em m;

Δt = Tempo necessário para a carga hidráulica passar de h₁ para h₂, em segundos.

4.4.1.4. Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de CCR

A moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de CCR, com dimensões de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, deve ser realizada de forma a se obter o máximo de similaridade

com o material compactado no campo e nos maciços experimentais. Os corpos-de-prova são moldados em mesa vibratória com uma frequência de 3600 rpm e com a aplicação de um contrapeso, devido a sua consistência mais seca que impossibilita o seu adensamento manualmente ou com vibradores de imersão, semelhante aos concretos convencionais.

Nestes procedimentos, o aparecimento de argamassa no topo dos corpos-de-prova, correlações de tempo de adensamento e grau de compactação e treinamento da mão-de-obra são parâmetros que devem ser considerados.

Os corpos-de-prova são moldados em duas camadas, sendo que cada camada é vibrada por 120 segundos. Nas Figuras 4.14 (a) e (b) e 4.15 (a) e (b) está apresentada a seqüência de moldagem.



Figura 4.14 : Moldagem de corpo-de-prova. (a) preenchimento dos moldes - 1a camada; (b) preenchimento da 2a camada.



Figura 4.15 : Moldagem de corpo-de-prova. (a) vibração com contrapeso (b) Acabamento com contrapeso e desempenadeira.

4.4.1.5. Determinação da Densidade, Umidade e Água Unitária com o Densímetro Nuclear

Desde o final da década de 50 tem sido testado, utilizado e aperfeiçoado o método de determinação de umidade e densidade de solos através da energia nuclear - Densímetro Nuclear. Ele apresenta duas grandes vantagens: rapidez e confiabilidade. Na prática está se comprovando que o método é de seis a dez vezes mais rápido do que os tradicionais, possibilitando assim uma grande economia na obra. Os resultados são gerados através de um processo que elimina toda uma série de erros humanos ou de equipamento e material (balança descalibrada, materiais fora das especificações, entre outros) (TRABOULSI, 2004).

Além da utilização em solos, nos últimos anos o densímetro nuclear vem sendo utilizado com grande frequência em concreto compactado com rolo (CCR), para a construção de UHE's (Usinas Hidrelétricas), barragens e pavimentos rígidos. Neste contexto, a utilização do equipamento passou a ser de grande importância para realizar o controle de qualidade durante a construção, antes da pega inicial e para a pesquisa tecnológica, avaliando as propriedades (massa unitária, água unitária e umidade) do CCR durante o lançamento (TRABOULSI, 2004).

A utilização do densímetro nuclear é fundamental visando contemplar o sistema de controle e garantia da qualidade compatível com a responsabilidade da estrutura, além de utilizar claramente parâmetros identificados com os fenômenos a serem controlados e fornecendo padrões para análise de segurança.

Segundo a NBR NM 4 (ABNT, 2000), existem dois métodos não destrutivos para a determinação da densidade "in situ" de CCR, mediante o uso de densímetro nuclear:

- Método A - por transmissão direta: O método de transmissão direta é "pseudo" não destrutivo, já que a fonte de raios gama é introduzida no material através de um pequeno furo, conforme a Figura 4.16.

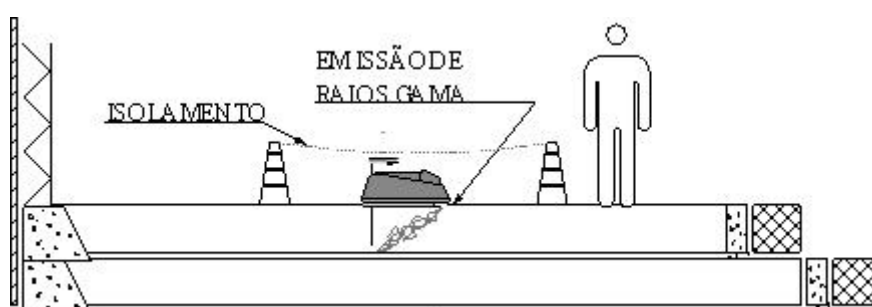


Figura 4.16 : Método para determinação da densidade "in situ" através do densímetro nuclear – Transmissão direta.

- Método B - por retrodispersão: O método de retrodispersão não é destrutivo e pode ser realizado rapidamente. Neste caso, tanto a fonte de raios gama quanto seu detector ficam na superfície do material, conforme a Figura 4.17.

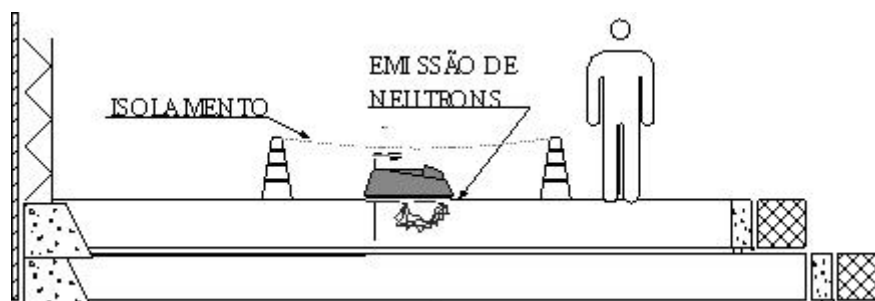


Figura 4.17 : Método para determinação da densidade "in situ" através do densímetro nuclear – Retrodispersão.

Relativo à constituição deste equipamento, tem-se uma fonte radioativa de Césio ($Cs\ 137$), uma de Amerício ($Am\ 241$) e uma de Belírio (Be), sendo a medição realizada através da emissão de raios gama, por essas fontes radioativas. Estes raios são contados por um detector após terem atravessado o material que, dependendo da densidade, o número de raios que chegam ao detector será maior ou menor. Na Figura 4.18 (a) e (b) está apresentado um densímetro nuclear, marca TROXLER, Modelo 3440, de propriedade do Laboratório de Concreto de FURNAS.

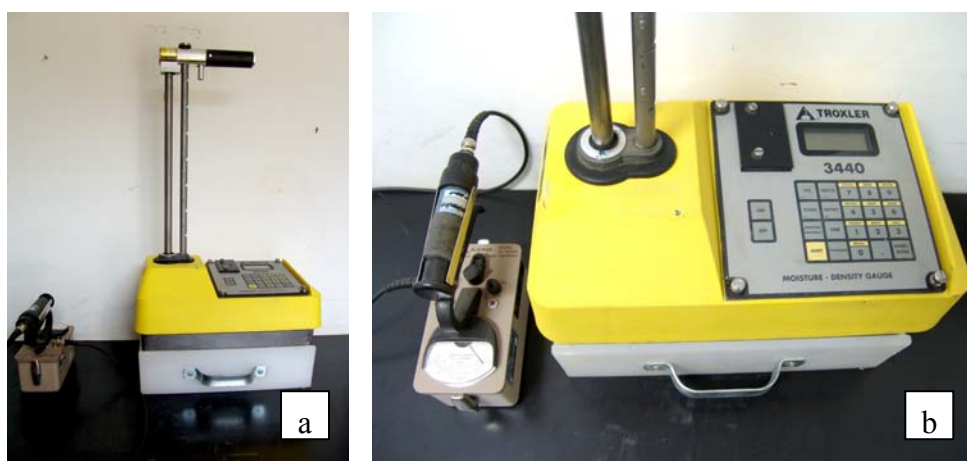


Figura 4.18 : (a) Densímetro nuclear; (b) detalhe do painel do densímetro.

Na Figura 4.19 (a) e (b) está ilustrada a aplicação do densímetro nuclear em maciços experimentais executados em laboratório utilizando o Método A da NBR NM 4 (ABNT,

2000) - por transmissão direta.



Figura 4.19 : Ensaio com densímetro nuclear. (a) execução de furo no maciço; (b) medição da massa específica.

4.4.2. Ensaio com Concreto Endurecido

Para os corpos-de-prova moldados e para os testemunhos extraídos dos maciços experimentais foram realizados os seguintes ensaios para caracterizar o CCR:

- Resistência à compressão axial – NBR 5739/1994
- Massa específica - NBR 9778/2005
- Resistência à tração simples – Dispositivo Leroy – Método desenvolvido em FURNAS
- Resistência à tração por compressão diametral - NBR 7222/1994
- Módulo de elasticidade – NBR 8522/1984
- Permeabilidade – NBR 10786/1989.
- Cisalhamento direto – Procedimento FURNAS N° 04.007.006.

4.4.2.1. Resistência à Compressão e Massa Específica

Os ensaios de resistência à compressão e massa específica foram conduzidos conforme os métodos NBR 5739 (ABNT, 1994) e NBR 9778 (ABNT, 2005), utilizando corpos-de-

prova moldados e testemunhos extraídos dos maciços experimentais.

4.4.2.2. Resistência Tração Simples – Dispositivo Leroy

Segundo Marques Filho (2005), os ensaios de tração direta em concreto geram uma série de incertezas quanto aos efeitos da dificuldade de manutenção da sua axialidade durante a realização do ensaio e, devido à facilidade de se realizar o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o ensaio de tração direta não teve boa aceitação.

Com o desenvolvimento da aplicação do CCR em grandes empreendimentos, surgiu a necessidade de fazer investigações ainda mais refinadas. Devido a este fato, com as incertezas quanto aos parâmetros mecânicos para caracterização das juntas começaram a surgir pesquisas procurando desenvolver o ensaio de resistência à tração direta (CASTRO, *et al.* 1998; RIBEIRO *et al.*, 1998; RIBEIRO, 1998; RIBEIRO *et al.*, 2001).

Atualmente no Brasil existem dois procedimentos para a realização do ensaio e são diferentes entre si pelos dispositivos para fixação e aplicação da carga. O primeiro método utiliza o equipamento criado por Guilherme Leroy e foi desenvolvido e patenteado pelo Laboratório de concreto de FURNAS, em Goiânia (CASTRO *et al.*, 1998). O segundo foi desenvolvido no LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas do LACTEC – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento localizado na cidade de Curitiba, Paraná, onde duas placas de aço com Rótulas acopladas são fixadas às extremidades do corpo-de-prova através do emprego de resina epóxi (RIBEIRO *et al.*, 1998).

Nesta pesquisa, os ensaios de tração direta executados foram realizados de acordo com o modelo proposto por Leroy. O dispositivo de ensaio é um conjunto de dois elementos que, providos de molas circulares, prendem firmemente o corpo-de-prova, propiciando assim que seja tracionado. Cada elemento é composto basicamente de uma peça cilíndrica, com uma tampa rosqueada, que é acoplada ao sistema de transmissão de carga de tração. A peça cilíndrica tem em seu interior um trecho cônico, onde fica alojada uma mola cilíndrica não contínua, ou seja, que se abre ou se fecha de acordo com o corpo-de-prova. A mola cilíndrica consiste de um anel de aço temperado, de seção transversal triangular, isto é, na parte interna é cilíndrica e na parte externa é cônica. Esta disposição provoca uma pressão de confinamento do corpo-de-prova, tanto maior quanto for a carga de tração.

Nas Figuras 4.20 (a) e (b) e 4.21 (a) e (b) está ilustrado o dispositivo de tração, assim como as fases de execução do ensaio.

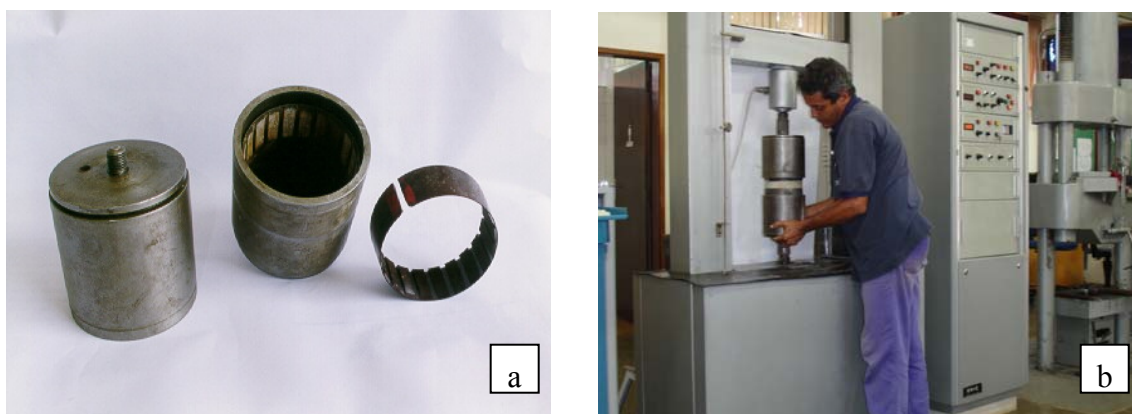


Figura 4.20 : Ensaio de tração direta. (a) conjunto de molas, tampas e tubo cônico; (b) montagem na prensa.



Figura 4.21 : Ensaio de tração direta. (a) equipamento de Ensaio; (b) ruptura do corpo-de-prova.

Ainda há dúvidas sobre os dois procedimentos utilizados no Brasil para a determinação da resistência à tração direta, pois, os dispositivos de fixação podem provocar pequenas distorções com relação a horizontal. Alguns pesquisadores vêm estudando novas técnicas para a determinação da tração direta utilizando corpos-de-prova com dimensões de 15 cm x 30 cm para a simulação de uma junta, onde a fôrma é preenchida em duas etapas e, segundo Ribeiro *et al.* (2002) e Olivares *et al.* (2003), os resultados obtidos são bastante satisfatórios e confiáveis.

4.4.2.3. Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de tração por compressão diametral é um método indireto de obtenção da resistência à tração do concreto, ou seja, é aplicada uma tensão de compressão na geratriz do

cilindro, o qual é colocado apoiado em duas taliscas de madeira (contato com os pratos da prensa). O corpo-de-prova fratura devido à tração desenvolvida em planos diametralmente opostos. Este ensaio foi desenvolvido pelo Eng^o Lobo Carneiro e é conhecido mundialmente como “Método Brasileiro” (FURNAS, 1997).

A concepção de uma estrutura de CCR traz consigo, durante a construção, uma série de juntas que devem ser avaliadas no que tange à resistência das mesmas entre as camadas. Com a confecção de maciços experimentais em laboratório, pode-se obter testemunhos extraídos horizontalmente e paralelos ao plano das juntas, operação esta de difícil execução em campo, permitindo assim, a possibilidade de se realizar o ensaio de tração por compressão diametral.

Na Figura 4.22 está apresentado o processo de extração horizontal de um testemunho entre camadas, ou seja, na junta.



Figura 4.22 : Extração de testemunhos horizontalmente entre camadas.

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram realizados conforme o método NBR 7222/1994 da ABNT. Na Figura 4.23 (a) e (b) está apresentado um ensaio de tração por compressão diametral em andamento.

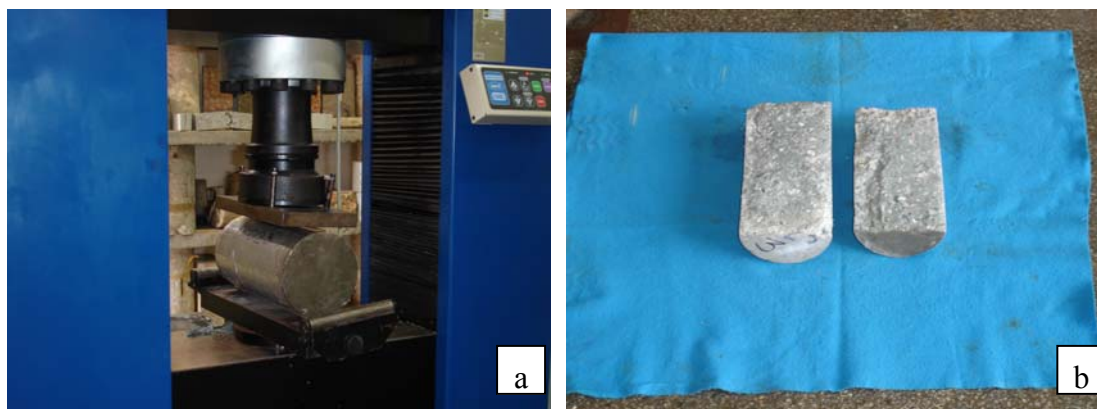


Figura 4.23 : Ensaio de tração por compressão diametral. (a) corpo-de prova apoiado sobre as taliscas; (b) corpo-de-prova fraturado após a execução do ensaio.

4.4.2.4. Módulo de Elasticidade

Considerando-se que o concreto não seja verdadeiramente um material elástico, e o gráfico tensão-deformação para incrementos contínuos de carga em geral tem a forma de uma linha com uma suave curvatura, para fins práticos é considerado linear, dentro do campo das tensões normalmente adotadas (FURNAS, 1997).

No CCR os consumos de cimento são relativamente baixos e conseqüentemente as resistências obtidas também são baixas, principalmente se este for comparado com o concreto convencional. Portanto deve-se realizar uma análise bem cuidadosa dos resultados obtidos no ensaio do módulo de elasticidade, uma vez que nos testemunhos extraídos, pode-se esperar uma dispersão em relação aos corpos-de-prova moldados. Este fato pode ser atribuído ao próprio processo de obtenção dos testemunhos que provoca um traumatismo na sua estrutura (MARQUES FILHO, 2005).

Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados de acordo com o método NBR 8522/84 da ABNT. Na Figura 4.24 (a) e (b) está ilustrada a realização de dois ensaios de módulo de elasticidade, um utilizando extensômetro elétrico (externo) e o outro com extensômetro mecânico.

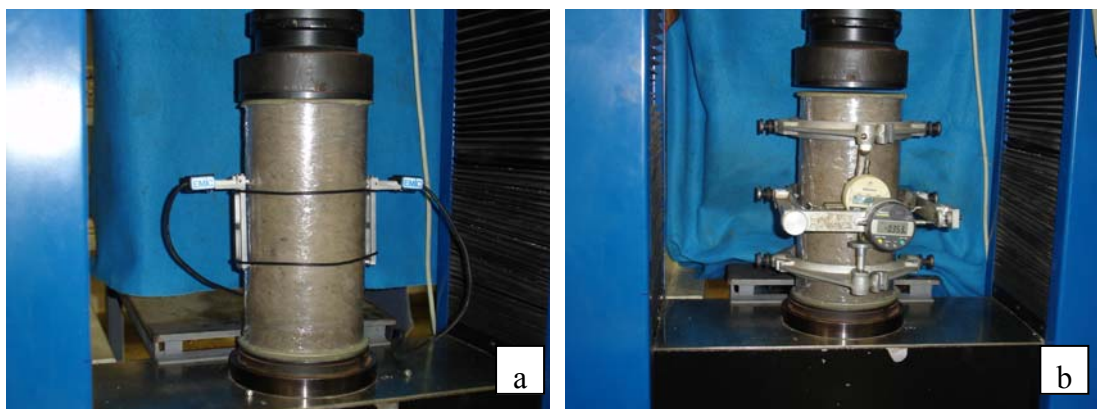


Figura 4.24 : (a) Módulo de elasticidade com extensômetro elétrico (externo); (b) módulo de elasticidade com extensômetro mecânico.

4.4.2.5. Permeabilidade à Água do Concreto Endurecido

Permeabilidade é a propriedade que indica a facilidade que um fluido tem em passar através da estrutura interna de um determinado corpo sobre pressão. No concreto, esta propriedade é medida pelo volume de água que passa através de corpos-de-prova.

A permeabilidade, juntamente com a absorção, são parâmetros importantes devido às suas relações com elementos agressivos que podem causar danos ao concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a permeabilidade do concreto à água depende principalmente da relação água / cimento, a qual determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares, e da dimensão máxima do agregado que influencia as microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

O método utilizado pelo Laboratório de Concreto de FURNAS é o da determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto pelo método de percolação da água sob pressão. De acordo com a NBR 10786/1989, o ensaio é realizado utilizando-se 03 (três) corpos-de-prova cilíndricos, de relação altura / diâmetro igual a 1 (um). O equipamento é o mesmo desenvolvido pelo U. S. Bureau of Reclamation, conforme pode ser observado na Figuras 4.25 e 4.26.



Figura 4.25 : Equipamentos para determinação da permeabilidade

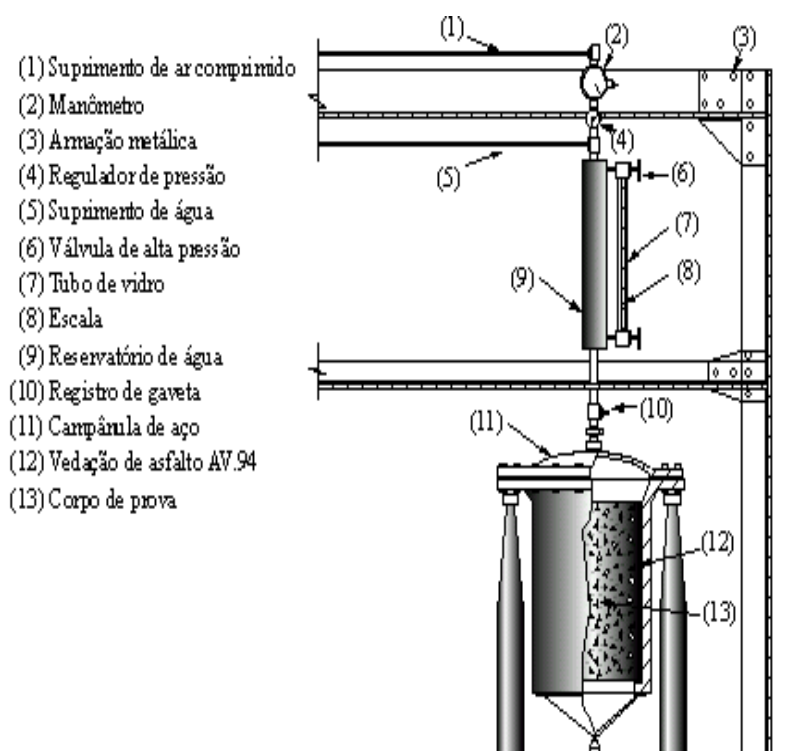


Figura 4.26 : Desenho esquemático do sistema de carga

O coeficiente de permeabilidade é calculado a partir da Lei de Darcy (escoamento em meios porosos, em regime permanente), medindo-se a quantidade de água que atravessa o corpo-de-prova de seção transversal A , durante um intervalo de tempo (t). A vazão Q

(cm³/hora) será obtida através da divisão do volume de água pelo tempo decorrido entre as leituras. O coeficiente de permeabilidade será então calculado pela equação 4:

$$K = \frac{Q.L}{A.H} \quad \text{(Equação 4)}$$

onde:

- K = coeficiente de permeabilidade, em cm/s;
- Q = vazão de entrada no painel de ensaio (fase linear), em cm³/s;
- L = altura do corpo de prova, em cm;
- A = Área da seção transversal do corpo de prova, em cm²;
- H = pressão manométrica do ensaio, em cm.

4.4.2.6. Cisalhamento Direto

Levando-se em consideração que a envoltória de Mohr-Coulomb possa ser aplicada adequadamente ao concreto, o ensaio de cisalhamento direto possibilita a sua determinação para estado duplo de tensões, através da execução de ensaios para diferentes forças normais (MARQUES FILHO, 2005). Na Figura 4.27 está apresentada a envoltória característica de Mohr-Coulomb, cujo comportamento admitido quando em diagrama tensão normal × tensão tangencial é linear, sendo obtido no ensaio pela determinação da resistência ao cisalhamento sob três tensões normais distintas (HESS, 1999).

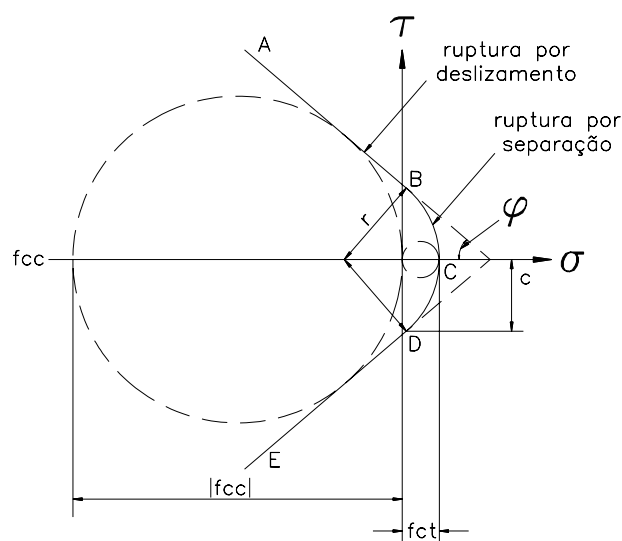


Figura 4.27 : Envoltória de Mohr-Coulomb (HESS, 1999).

Os ensaios foram realizados em prensa servo-controlada, com capacidade máxima de 50 t de carga normal e 100t de carga cisalhante. Para definição da envoltória de resistência foram utilizados em cada ensaio no mínimo 03 (três) corpos-de-prova, aplicando-se tensões normais entre 900 kPa e 2700 kPa.

Na Figura 4.28 é mostrado um desenho esquemático da execução do ensaio, utilizando o equipamento do Laboratório de Concreto de FURNAS Centrais Elétricas S. A. existente em Goiânia, onde foram executados todos os ensaios.

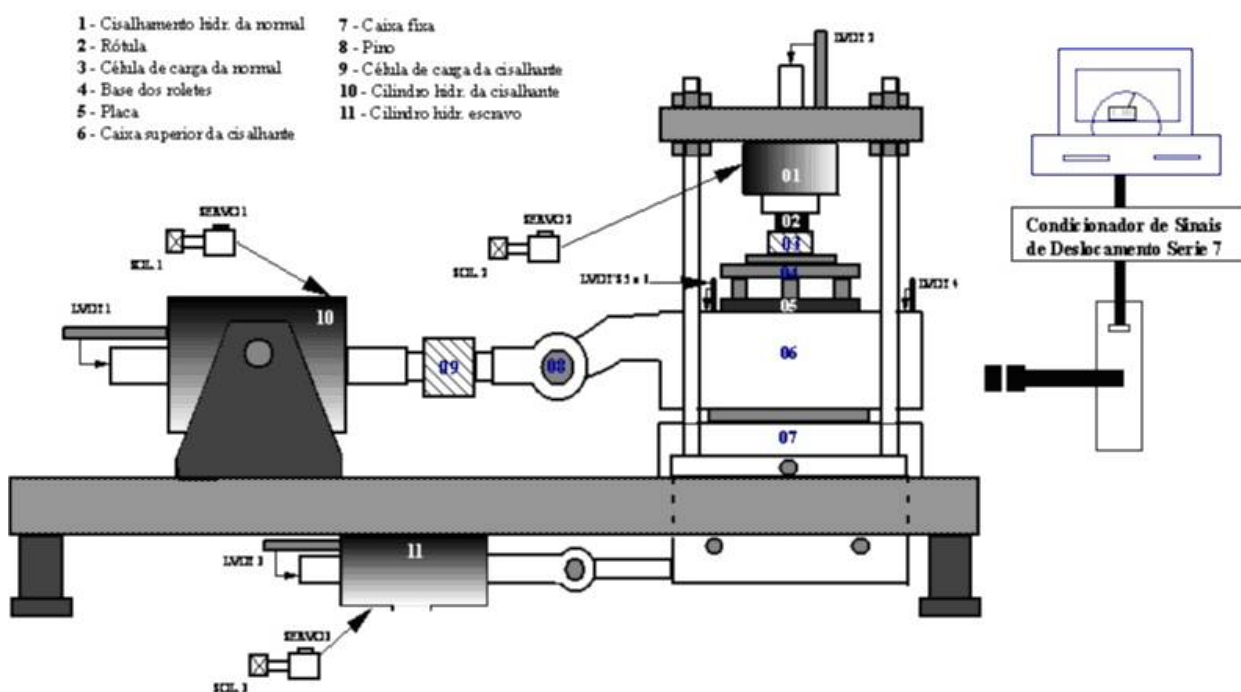


Figura 4.28 : Desenho esquemático do arranjo para ensaio de cisalhamento.

Na Figura 4.29 (a) e (b) está apresentada a prensa servo-controlada e a montagem do ensaio de um corpo-de-prova confinado em argamassa não retrátil, mantendo-se apenas a junta ou a região que será ensaiada exposta ao esforço cisalhante.

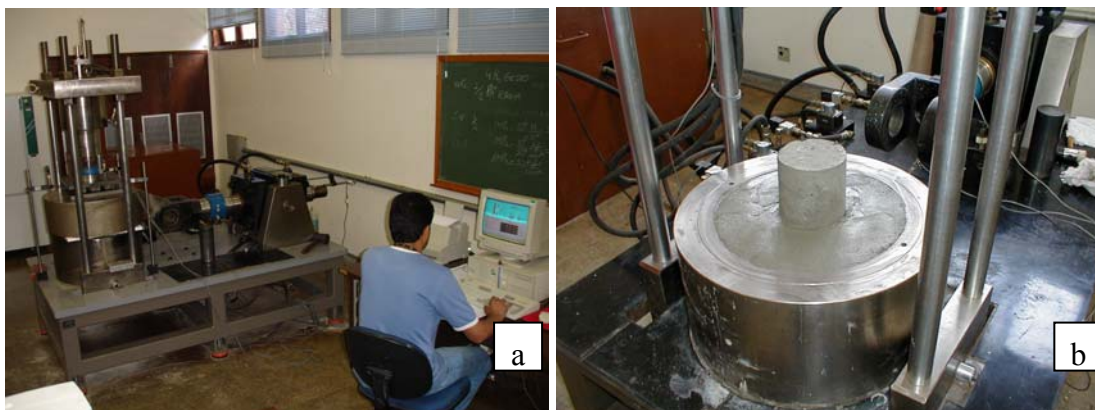


Figura 4.29 : Ensaio de cisalhamento direto. (a) prensa servo-controlada; (b) corpo-de-prova confinado.

O equipamento permite a obtenção de curvas do tipo tensão cisalhante \times deslocamento horizontal, deslocamento horizontal \times deslocamento vertical e a envoltória de resistência utilizando regressões lineares sobre os resultados obtidos. Na Figura 4.30 estão apresentadas, a título de ilustração, as curvas supracitadas que o equipamento fornece durante a execução do ensaio.

CP Moldado - Pista 7 E-8303
Moldagem: 29/02/2000 Idade: 365 dias

Ensaio s: cis243, cis242 e cis241

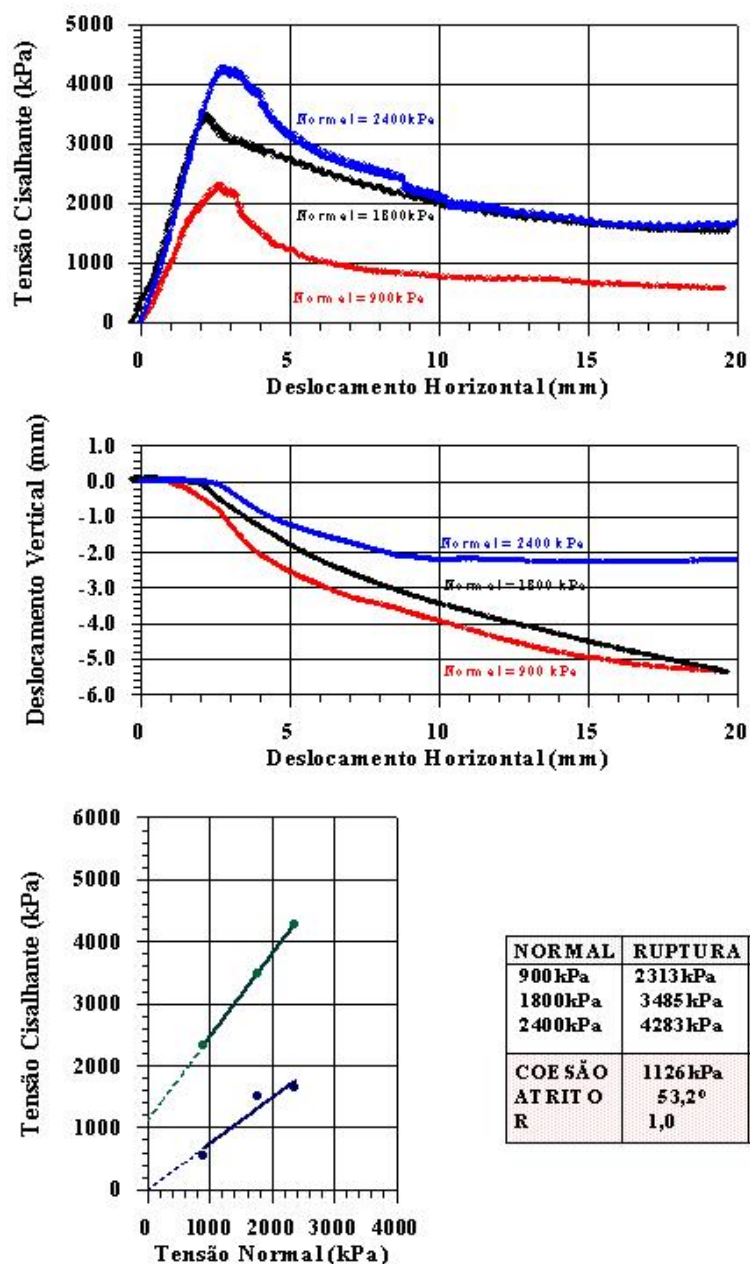


Figura 4.30 : Curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal, deslocamento horizontal x deslocamento vertical e a envoltória de resistência.

4.5. PROJETO DE EXPERIMENTOS

Os maciços experimentais desenvolvidos em laboratório representam uma pequena fatia de uma estrutura de CCR e devem ter a capacidade de reproduzir as mesmas condições

de campo, permitindo, assim, utilizar as informações obtidas de forma confiável, tanto na fase de projeto quanto na fase de construção da obra.

Para a definição da matriz experimental foram levadas em consideração as seguintes variáveis controláveis: o tipo de tratamento da superfície antes do lançamento da próxima camada, a utilização ou não de argamassa de ligação, o intervalo de tempo de lançamento entre as camadas e a temperatura ambiente de exposição da superfície.

Na Tabela 4.5 estão apresentados as variáveis controláveis e os intervalos admitidos durante o programa experimental.

Tabela 4.5 : Variáveis controláveis.

VARIÁVEIS CONTROLÁVEIS		PARÂMETROS ANALISADOS
Tipo de tratamento da superfície (*)		Limpeza com ar comprimido Jato de alta pressão/apicoamento
Argamassa de ligação		com sem
Intervalo de Lançamento	sem argamassa	0h
		4h
		8h
		12h
	com argamassa	8h
		12h
		24h
		48h
Temperatura ambiente de exposição		25°C 45°C

(*) Tratamentos simulados em Laboratório e com grande aproximação dos executados em campo

Alguns tratamentos realizados em juntas no campo são difíceis de serem reproduzidos em Laboratório. Caso específico esse é o do tratamento da superfície da camada com jato de alta pressão, o qual foi substituído, na pesquisa, por apicoamento utilizando escarificador de agulhas pneumático, o mesmo utilizado para a preparação dos corpos-de-prova de permeabilidade do concreto endurecido. Na Figura 4.31 (a) e (b) está ilustrada uma junta com a metade apicoada e outra metade tratada com jato de ar comprimido (soprada).

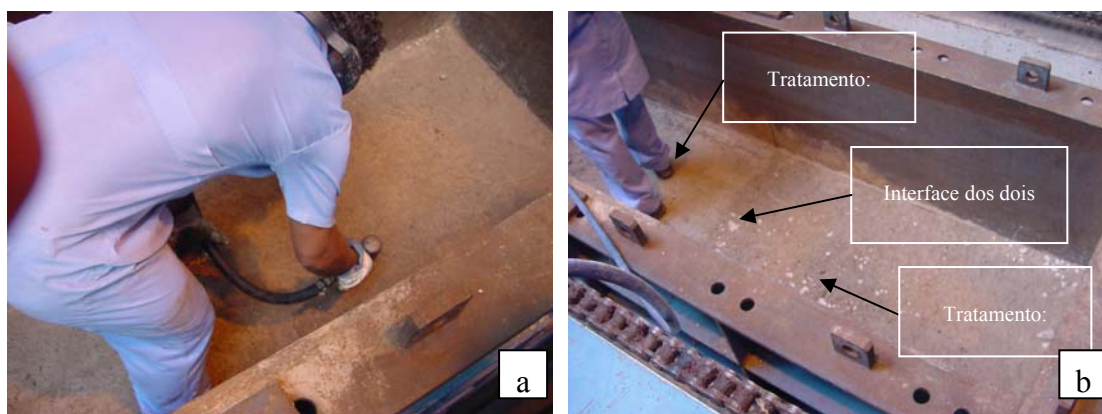


Figura 4.31 : Preparação da superfície. (a) Apicoamento com escarificador pneumático; (b) vista geral dos dois tratamentos da superfície do concreto.

Foram confeccionados 11 (onze) maciços experimentais ao todo. Cada maciço teve 04 (quatro) camadas executadas com a mesma dosagem, sendo que a primeira camada é de regularização e com espessura 0,20 m e as outras três com espessura de 0,30 m, com as condições de exposição e tratamento de junta apresentadas na Tabela 4.5. Na Figura 4.32 está apresentada uma representação esquemática de um maciço experimental, utilizada para o controle de execução.

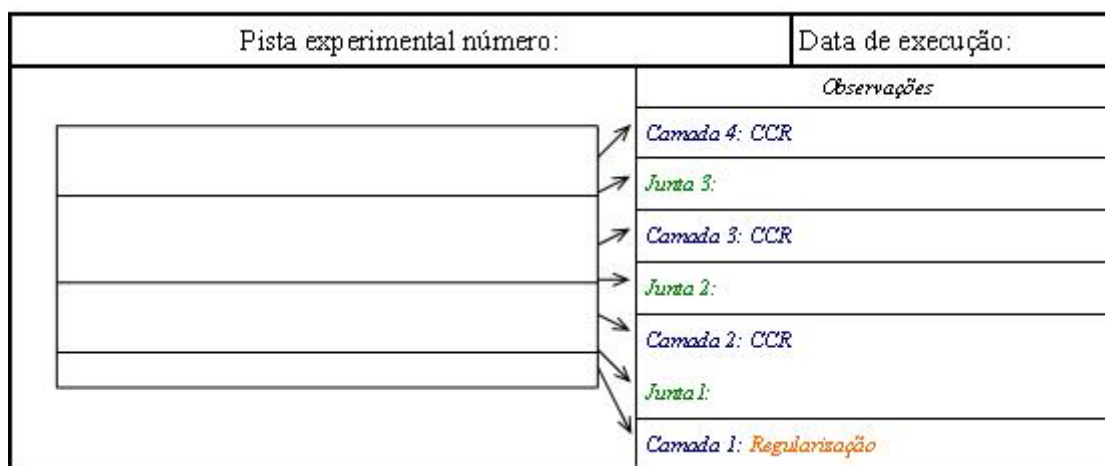


Figura 4.32 : Desenho esquemático do maciço experimental.

4.5.1. Resumo dos Maciços Experimentais - Matriz Experimental

Durante a execução da pesquisa os maciços receberam uma identificação de acordo com o seqüencial do laboratório, porém em todas as referências deste trabalho foi adotada a nomenclatura de maciços do projeto de experimento proposto na Tabela 4.6 e as camadas

foram numeradas na seqüência de execução no maciço com algarismos romanos de I a IV.

Tabela 4.6 : Resumo dos Maciços Experimentais – Matriz Experimental.

Maciço		Juntas entre Camadas											
Proj.	Lab.	I/II				II/III				III/IV			
		Δt (h)	Argam.	Tratam.	T(°C)	Δt (h)	Argam.	Tratam.	T(°C)	Δt (h)	Argam.	Tratam.	T(°C)
1	4	24	Com	Ar comp.	25	0	Sem	Ar comp.	25	0	Sem	Ar comp.	25
2	7	115	Com	Ar comp.	25	0	Sem	Ar comp.	25	04	Sem	Ar comp.	25
3	12	24	Com	Ar comp.	25	08	Sem	Ar comp.	25	12	Sem	Ar comp.	25
4	8	24	Com	Ar comp.	25	04	Sem	Ar comp.	45	08	Sem	Ar comp.	45
5	13	24	Com	Ar comp.	25	12	Sem	Ar comp.	45	08	Com	Ar comp.	25
6	14	24	Com	Ar comp.	25	12	Com	Ar comp.	25	24	Com	Ar comp.	25
7e	15	04	Sem	Apicoam.	25	08	Com	Apicoam.	25	48	Com	Ar comp.	25
7d	15	04	Sem	Apicoam.	25	08	Sem	Apicoam.	25	48	Com	Apicoam.	25
8e	16	24	Com	Apicoam.	25	08	Com	Apicoam.	45	12	Com	Apicoam.	25
8d	16	24	Com	Apicoam.	25	08	Sem	Apicoam.	45	12	Sem	Apicoam.	25
9e	17	04	Sem	Apicoam.	45	48	Com	Ar comp.	45	24	Com	Ar comp.	45
9d	17	04	Sem	Apicoam.	45	48	Com	Apicoam.	45	24	Com	Apicoam.	45
10e	18	08	Com	Ar comp.	45	12	Com	Ar comp.	45	0	Sem	Apicoam.	25
10d	18	08	Com	Ar comp.	45	12	Com	Apicoam.	45	0	Sem	Apicoam.	25
11	35	04	Sem	Ar comp.	25	04	Sem	Ar comp.	25	04	Sem	Ar comp.	25

LEGENDA:

I, II, III, IV:

Nomenclatura das camadas de concretagem na seqüência de execução.

I/II, II/III, III/IV:

Nomenclatura das Juntas entre camadas.

Δt :

Intervalo de lançamento entre camadas.

T:

Temperatura de exposição da junta

e:

Lado esquerdo da camada.

d:

Lado direito da camada.

Proj.

Número de identificação do maciço adotado no projeto de pesquisa

Lab.

Número de identificação do maciço adotado no laboratório

4.5.2. Ensaios nos Maciços Experimentais

De acordo com o proposto na matriz experimental, são realizados ensaios de caracterização do CCR fresco e endurecido de todas as camadas lançadas em todos os maciços. Este procedimento permite o treinamento e aperfeiçoamento da mão-de-obra, calibração dos equipamentos utilizados e cria um banco de dados de todos os processos estudados em laboratório e que poderão ser correlacionados com os resultados obtidos em campo (MARQUES FILHO, 2005).

Ao longo de todas as camadas executadas nos maciços experimentais, foram realizados os seguintes ensaios para a determinação das propriedades do concreto fresco.

- trabalhabilidade (tempo de vibração) através do consistômetro VeBê (*Cannon Time*);
- massa unitária do CCR compactado através do aparelho de VeBê;
- massa unitária do CCR solta através do aparelho de VeBê;

- massa unitária e teor de água unitária através do Dispositivo para Determinação da Massa unitária e Água Unitária (aparelho de DMA);
- determinação da umidade do CCR integral e peneirado (peneira # 4,8 mm);
- permeabilidade do concreto fresco utilizando permeâmetro de carga variável;
- densidade –determinada através da utilização de um Densímetro Nuclear.

Na Tabela 4.7 está apresentado o quantitativo de ensaios realizados com o CCR no estado fresco, referente aos ensaios acima relacionados.

Tabela 4.7 : Quantidade de ensaios realizados com o CCR fresco

Maciço		Ensaio Realizado com Concreto Fresco							
Proj.	Lab.	Cannon Time	Massa Específica				Umidade		Permeabilidade
			Compactada VeBê	Solta VeBê	Densímetro Nuclear	DMA	Integral	Peneirado	
1	4	04	04	04	12	04	03	03	04
2	7	04	04	04	12	03	03	03	04
3	12	04	04	04	12	04	01	01	04
4	8	04	04	04	12	04	---	---	04
5	13	04	04	04	12	04	---	---	04
6	14	04	04	04	11	04	04	04	04
7	15	06	06	06	14	06	04	04	06
8	16	06	06	06	16	06	06	05	---
9	17	06	06	06	18	06	04	04	04
10	18	06	06	06	16	06	05	05	05
11	35	04	04	04	12	03	03	02	---
Total		52	52	52	147	50	33	31	39
Total de ensaios realizados com o CCR Fresco					456				

Simultaneamente ao lançamento do CCR em todos os maciços experimentais, foram moldados corpos-de-prova para a realização dos seguintes ensaios:

- ✓ resistência à compressão axial – 07, 28, 90, 120, 180 e 365 dias;
- ✓ resistência à tração simples - 07, 28, 90, 120, 180 e 365 dias;
- ✓ resistência à tração por compressão diametral - 07, 28, 90, 120, 180 e 365 dias;
- ✓ módulo de elasticidade - 07, 28, 90, 120, 180 e 365 dias;
- ✓ cisalhamento direto - 28, 90, 120, 180 e 365 dias;
- ✓ permeabilidade;

Após um período mínimo de 90 dias, os maciços são submetidos à extração de testemunhos no sentido horizontal e vertical, pois, o CCR já adquiriu resistência suficiente para suportar o desgaste da sondagem rotativa. Logo em seguida, estes testemunhos são cortados e retificados para a obtenção de corpos-de-prova para a realização dos seguintes ensaios:

- ✓ Resistência à compressão axial (extraídos na vertical e na horizontal) – 120 e 180 dias;
- ✓ Resistência à tração simples (extraídos na vertical, na junta e fora da mesma) - 120 e 180 dias;
- ✓ Resistência à tração por compressão diametral (extraídos na horizontal na junta) - 120 e 180 dias;
- ✓ Módulo de elasticidade - 120 e 180 dias;
- ✓ Cisalhamento direto - 120 e 180 dias;
- ✓ Permeabilidade (extraídos na vertical e horizontal na junta).

Para os ensaios com o concreto endurecido, nas Tabelas 4.8 e 4.9 estão apresentados os quantitativos dos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados e com os testemunhos extraídos dos maciços de CCR, respectivamente.

Tabela 4.8 : Quantidade de ensaios realizados com o CCR endurecido – corpos-de-prova moldados

Maciço		Ensaio Realizado com Concreto Endurecido - Corpos-de-Prova Moldados					
Proj.	Lab.	Compressão	Massa Específica	Módulo de Elasticidade	Tração Simples	Compressão Diametral	Cisalhamento
1	4	14	03	---	03	---	---
2	7	17	10	04	08	05	18
3	12	19	15	04	13	05	15
4	8	17	13	05	08	05	12
5	13	19	15	04	14	05	21
6	14	19	15	04	14	05	24
7	15	03	03	---	15	---	42
8	16	02	02	---	15	---	45
9	17	02	02	---	13	---	45
10	18	03	03	---	12	---	24
11	35	---	---	---	---	---	---
Total		115	81	21	115	25	246
Total Geral de cp's do estudo				603			

Tabela 4.9 : Quantidade de ensaios realizados com o CCR endurecido – testemunhos extraídos

Maciço		Ensaio Realizado com Concreto Endurecido - Testemunhos Extraídos						
Proj.	Lab.	Compressão	Massa Específica	Módulo de Elasticidade	Tração Simples	Compressão Diametral	Cisalhamento	Permeabilidade
1	4	18	17	18	18	12	09	18
2	7	17	17	17	25	14	15	09
3	12	24	24	23	32	17	12	06
4	8	09	09	08	33	15	17	09
5	13	13	07	13	19	14	12	06
6	14	15	14	15	30	18	12	06
7	15	05	05	05	17	23	27	10
8	16	01	03	01	08	11	30	12
9	17	03	03	03	17	24	36	12
10	18	04	04	04	28	24	33	12
11	35	35	35	35	36	---	47	---
Total		144	138	142	263	172	250	100
Total Geral de testemunhos do estudo				1209				

4.6. CONFECÇÃO DE MACIÇOS EXPERIMENTAIS DE CCR EM LABORATÓRIO

4.6.1. Equipamento para Compactação de CCR em Laboratório (Rolo Compactador)

O concreto compactado com rolo, por ser um concreto de baixa consistência e adensado por meio de vibração externa utilizando rolo vibratório, tem sua moldagem em laboratório dificultada, pois para sua consolidação efetiva, o CCR deve ser seco o suficiente para suportar o peso do rolo compactador e permitir fácil adensamento sob sua ação, apresentando no final, depois de endurecido, as características comumente obtidas no concreto massa convencional.

O laboratório de CCR de FURNAS abriga uma série de equipamentos, dentre os quais, está instalado um que permite variar todas as grandezas envolvidas com a execução de um pequeno maciço experimental, simulando a ação dos vários rolos comerciais existentes.

Este equipamento foi desenvolvido numa parceria entre FURNAS E EMIC baseado no modelo instalado no CRIEPI – Centro de Pesquisas da Indústria de Energia Elétrica - localizado no Japão (MARQUES FILHO, 2005).

Durante o 52th *Executive Meeting of the ICOLD*, realizado no Japão em 1984, o engenheiro Walton Pacelli de Andrade, em visita realizada ao CRIEPI, obteve algumas fotos do equipamento. Posteriormente, em 1986, foram realizados alguns contatos através de cartas ao CRIEPI, com o objetivo de aquisição de um equipamento similar, e descobriu-se que o mesmo foi fabricado por encomenda exclusivamente para esta entidade, através de um projeto por ela desenvolvido.

No final dos anos 80, iniciou-se uma busca por uma empresa capacitada para desenvolver o projeto do equipamento a partir das fotos tiradas pelo engenheiro Walton Pacelli de Andrade. Um anteprojeto foi realizado pelas empresas ENGECON de Poços de Caldas e VIBREX de Itajubá.

No início dos anos 90, foi firmada a parceria entre FURNAS e EMIC, e em 1997 foi instalado no laboratório de CCR o segundo equipamento para confecção de maciços experimentais no mundo, o qual foi batizado com o nome do Engenheiro Antonio Rodrigues Gallego, diretor da EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda.

Atualmente não se tem registro de nenhum equipamento similar em funcionamento, sendo que o do CRIEPI encontra-se desativado.

O controle do equipamento é totalmente digital e integrado em uma única CPU PC compatível, com o sistema tendo uma taxa de atualização de 2000 vezes por segundo. O sistema digital pode receber programações separadas de posicionamento e aplicação de carregamento. No controle por carga, o sistema impõe uma condição de força estática e dinâmica pré-definida, ficando a cargo do sistema as correções necessárias para a manutenção dessas condições, ou seja, variação da posição e amplitude de curso do atuador em função da maior ou menor rigidez da região que está sendo trabalhada e das irregularidades da superfície.

Para a confecção de um maciço experimental em laboratório são necessários aproximadamente 4 m³ de CCR. Devido ao grande volume, o laboratório também está equipado com uma pequena central de britagem, uma betoneira com capacidade efetiva de 1,5 m³, duas pontes rolantes para o manuseio e transporte de estruturas e peças de até 20 toneladas, e uma câmara úmida com abertura do teto para permitir a estocagem dos maciços, que possuem dimensões de 3,0 m de comprimento, 1,2 m de altura e 0,9 m de largura. Possui,

ainda, uma área industrial para armazenamento de materiais, extração e corte de testemunhos com serra com disco diamantado ou com fio diamantado.

4.6.1.1. Descrição do Equipamento

O equipamento é composto de um sistema de trilhos sobre o qual se movimenta a estrutura do pórtico de sustentação do rolo compactador. Em uma área central aos trilhos existe um poço, na qual, se encaixa um molde. O molde fica totalmente abaixo da linha do piso e possui dimensões de 900 mm de largura, 1200 mm de altura e com comprimento máximo de 3000 mm (ANDRADE et al., 2003). Na Figura 4.33 está apresentado o equipamento que é composto basicamente por três sistemas, um de movimentação horizontal, um de movimentação vertical e um de aplicação de carga que estão descritos a seguir.



Figura 4.33 : Vista geral do equipamento para compactação de CCR.

a) Sistema de movimentação horizontal

A movimentação horizontal do rolo é efetuada através de um sistema de correntes e rodas dentadas, acionadas por um servomotor elétrico acoplado a um redutor. O sistema de correntes foi projetado de forma a não somente imprimir o movimento básico de ida e volta, como também fazer com que o rolo gire de forma sincronizada com este movimento de translação, evitando que haja escorregamento entre o rolo e o concreto. Esta é a condição que melhor simula a atuação de um rolo compactador comercial. A utilização de um servomotor permite o controle da velocidade em ambos os sentidos, na faixa de 0 km/h à 0,5 km/h, podendo variar de forma contínua.

b) Sistema de movimentação vertical

O sistema de movimentação vertical destina-se a ajustar o conjunto rolo com atuador hidráulico à melhor altura para a execução das várias camadas. Esta movimentação é possível com a utilização de um servomotor com redutor de velocidade. Com um curso útil de 1400 mm, permite a execução de corpos-de-prova de até 1200 mm de altura.

c) Sistema de aplicação de carga

O elemento responsável pela aplicação de carga é um atuador hidráulico de alta performance, com capacidade para 15 tf, que, em conjunto com a servoválvula diretamente montada sobre ele, permitindo a aplicação de cargas estáticas e dinâmicas de até 70 Hz. O atuador hidráulico é também responsável por uma parcela da movimentação vertical do rolo no sentido de fazê-lo acompanhar as irregularidades da superfície do concreto ao longo do comprimento do corpo-de-prova. Por esta razão foi utilizado um atuador com curso de 200 mm, que permite absorção de irregularidades na superfície do concreto de até 200 mm.

4.6.1.2. Regularização da superfície da camada

Dada a largura de o rolo ser de 650 mm, ou seja, menor que a largura dos moldes, isto implica que apenas a região central equivalente à largura do rolo poderá ser considerada como útil, ou compactada com o rolo, sendo os bordos compactados com compactador manual ou vibro soquete pneumático (perereca), conforme apresentado nas Figuras 4.34 (a) e (b) e 4.35 (a) e (b).

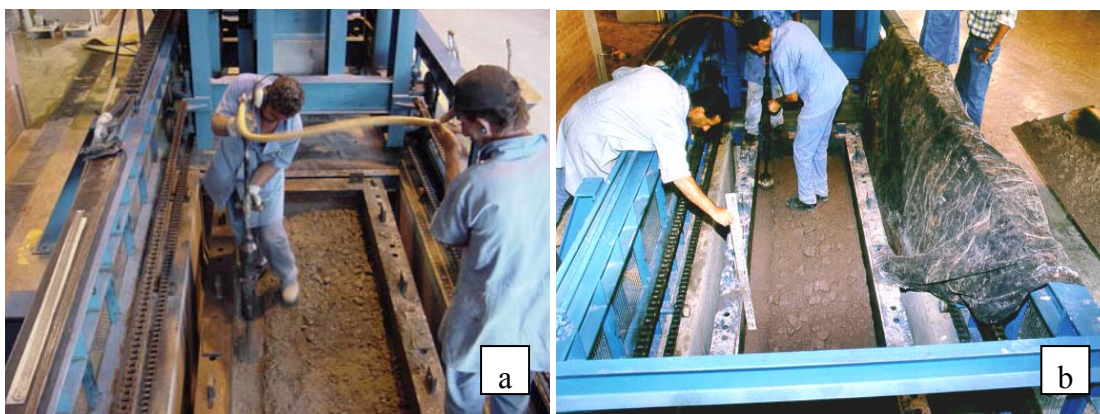


Figura 4.34 : Confeção de um maciço. (a) Compactação das extremidades; (b) medição da altura camada após compactação das extremidades.

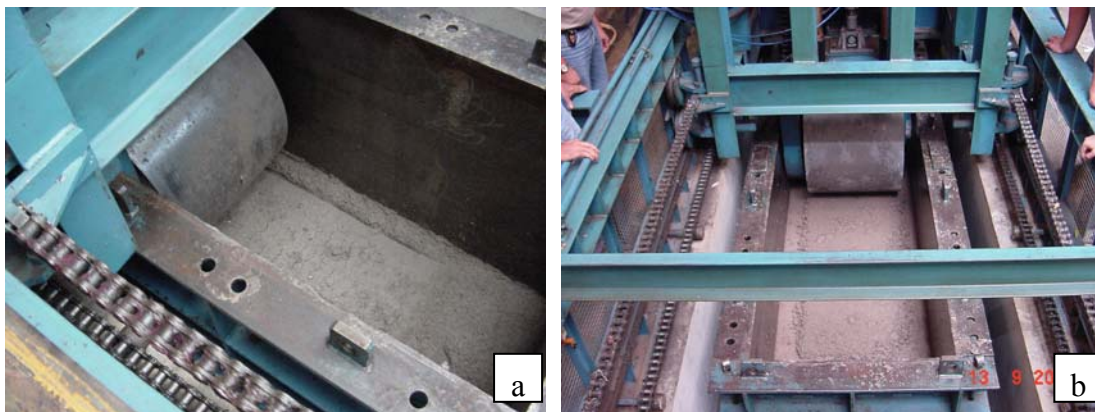


Figura 4.35 : Confeção de um maciço. (a) Detalhe da lateral durante a compactação; (b) rolo compactador em operação.

Da mesma maneira, no sentido longitudinal, não são compactados com o rolo os trechos inicial e final correspondentes ao raio do rolo de 450 mm. Este trecho pode ser utilizado para testes com concretos de face, simulando o concreto convencional de face ou CCR de paramento de montante (enriquecido com material cimentício ou com pasta de cimento).

As irregularidades apresentadas na camada após o término de aplicação da carga são eliminadas com o auxílio de uma vibro-acabadora elétrica de placa manual, conforme apresentado na Figura 4.36.



Figura 4.36 : Regularização da superfície da camada com vibro-acabadora.

4.6.2. Dispositivo de Cura (Climatizador)

Com o objetivo de simular as diversas condições de exposição de camada, variar a temperatura e manter a umidade ideal de cura do concreto foi desenvolvido no Laboratório de Concreto de FURNAS, pelo técnico Guilherme Leroy, um dispositivo que permite o controle de umidade e de temperatura na camada de ar superior do molde.

Tal dispositivo é fabricado em estrutura composta em perfilado de madeira, onde estão acoplados um nebulizador e um equipamento para condicionamento de ar com resfriamento e aquecimento com regulador termostático.

Nas Figuras 4.37 (a) e (b) e 4.38 está apresentada uma vista geral do equipamento para controle ambiental da superfície da camada e o detalhe do seu interior com os acessórios de climatização embutidos e o equipamento instalado na fôrma.

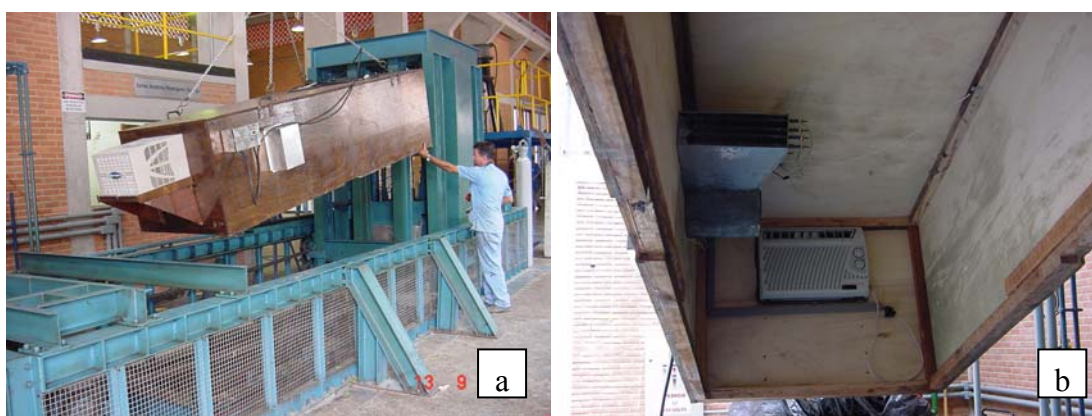


Figura 4.37 : Dispositivo de cura. (a) vista Geral; (b) acessórios acoplados.



Figura 4.38 : Dispositivo de cura instalado na fôrma.

4.6.3. Seqüência de Execução dos Maciços Experimentais

O CCR é produzido em betoneira estacionária com capacidade para 1,5 m³. A homogeneização do concreto é feita com mini pá-carregadeira e lançado na fôrma metálica de uma altura não superior a 1,00 m.

O espalhamento é executado manualmente e as extremidades são compactadas com vibro soquete pneumático em duas subcamadas de 15 cm (para as camadas com 30cm de espessura). Após o espalhamento do concreto, é medida a altura da camada antes da compactação em três pontos: no terço inicial, no meio e no terço final.

Nas Figuras 4.39 (a) e (b) e 4.40 (a) e (b) estão apresentados os procedimentos de abastecimento da betoneira de 1,5 m³ com o auxílio da mini pá-carregadeira e logo em seguida a descarga e homogeneização do CCR após mistura.

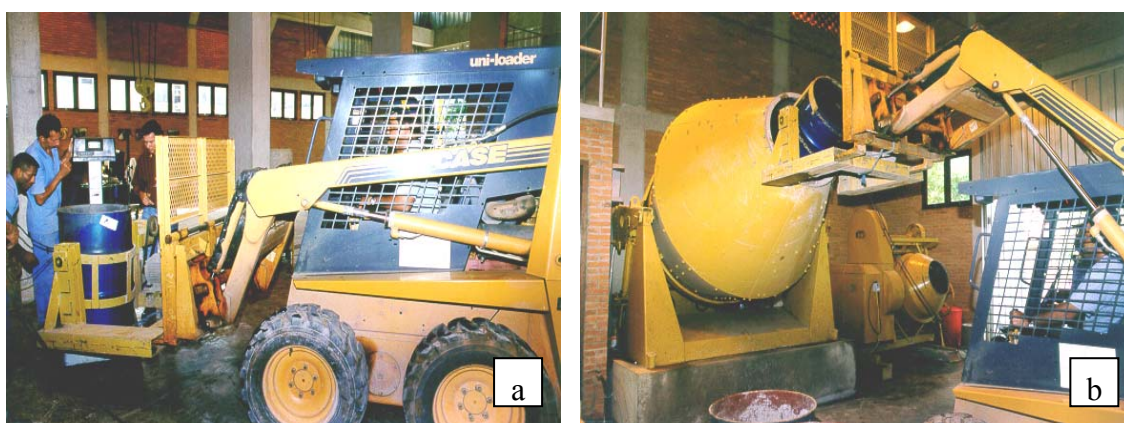


Figura 4.39 : Sala de dosagem. (a) pesagem dos materiais para execução do CCR; (b) Abastecimento da betoneira de 1,5 m³.

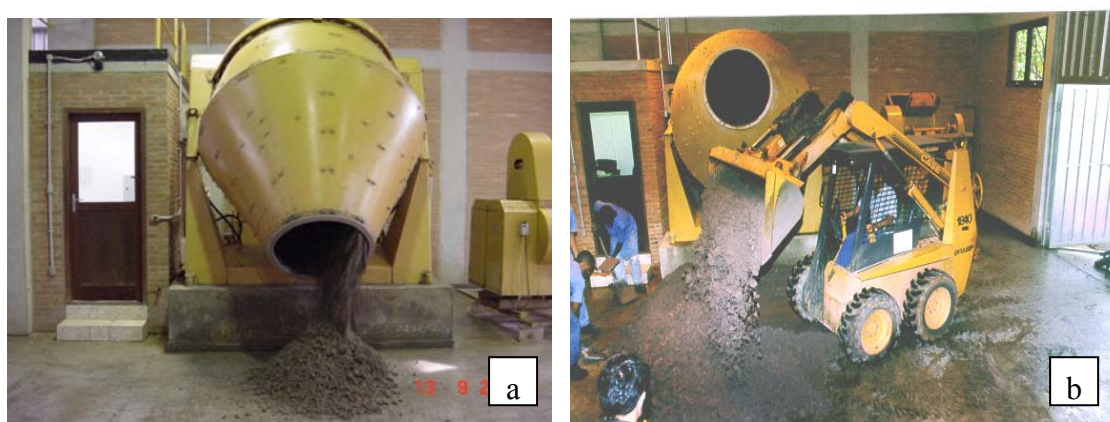


Figura 4.40 : Sala de dosagem. (a) descarga do CCR; (b) homogeneização do CCR pós-mistura.

Nas Figuras 4.41 (a) e (b) e 4.42 (a) e (b) estão apresentados o lançamento e espalhamento do CCR na fôrma, a compactação das extremidades com vibro soquete pneumático e o rolo vibratório em operação.

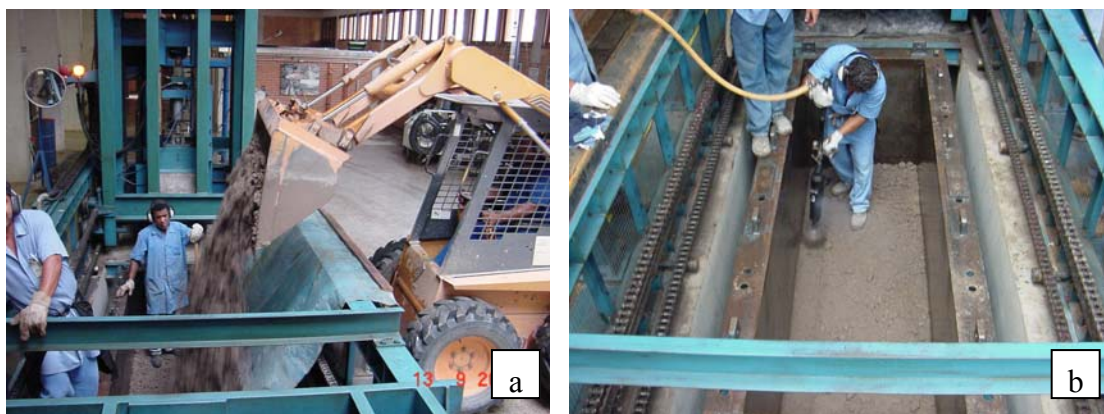


Figura 4.41 : Confeção do maciço. (a) lançamento e espalhamento do CCR; (b) compactação das extremidades do CCR.

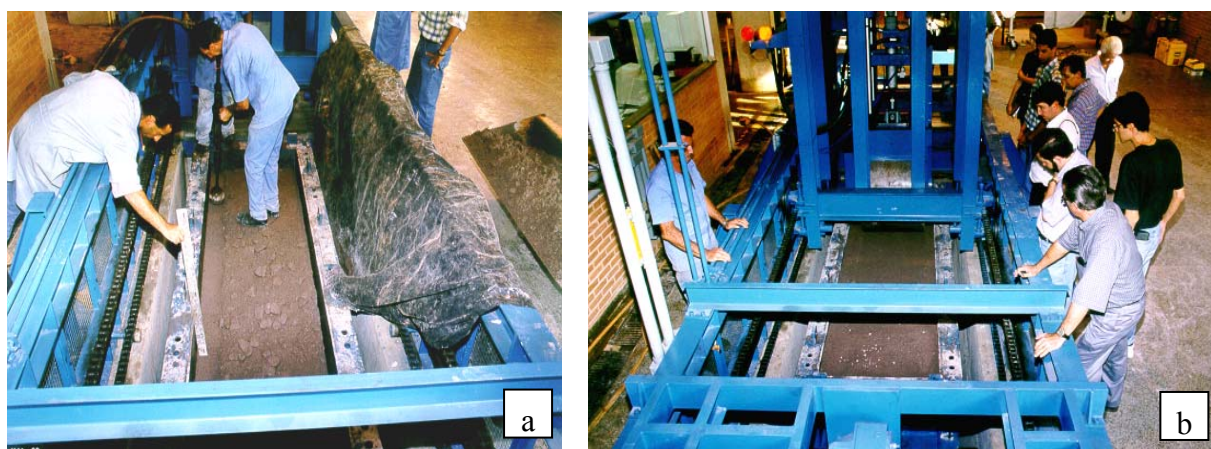


Figura 4.42 : Confeção do maciço. (a) medição da altura da camada após a compactação das extremidades; (b) vista Geral do equipamento em operação.

Na Figura 4.43 (a) e (b) estão ilustrados os procedimentos de medição da massa específica do CCR com o auxílio do Densímetro Nuclear.



Figura 4.43 : Ensaio com Densímetro Nuclear. (a) execução do furo no maciço;
(b) determinação da massa específica do CCR.

No intervalo entre uma camada e outra, as juntas são submetidas às condições de temperatura e umidade já estabelecidas no projeto de experimentos e com o auxílio do dispositivo de cura, conforme já mostrado no item 4.6.2, e imediatamente antes do lançamento da camada seguinte é executado o tratamento da superfície com jato de ar comprimido ou apicoamento e com ou sem utilização de argamassa de ligação.

Após 7 dias do lançamento da última camada, as condições de estocagem dos maciços após a desforma são em câmara úmida, com umidade relativa do ar acima de 96% e temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por um período mínimo de 30 dias. O transporte dos maciços até a câmara úmida é realizado com o auxílio de duas pontes rolantes com capacidade de 10 toneladas cada uma.

Nas Figuras 4.44 (a) e (b) a 4.46 (a) e (b) estão mostrados as tarefas de transporte, estocagem em câmara úmida, desforma e o aspecto final de um maciço experimental de CCR produzido em laboratório.



Figura 4.44 : Armazenamento do maciço. (a) transporte do maciço de CCR; (b) maciço de CCR na Câmara úmida.

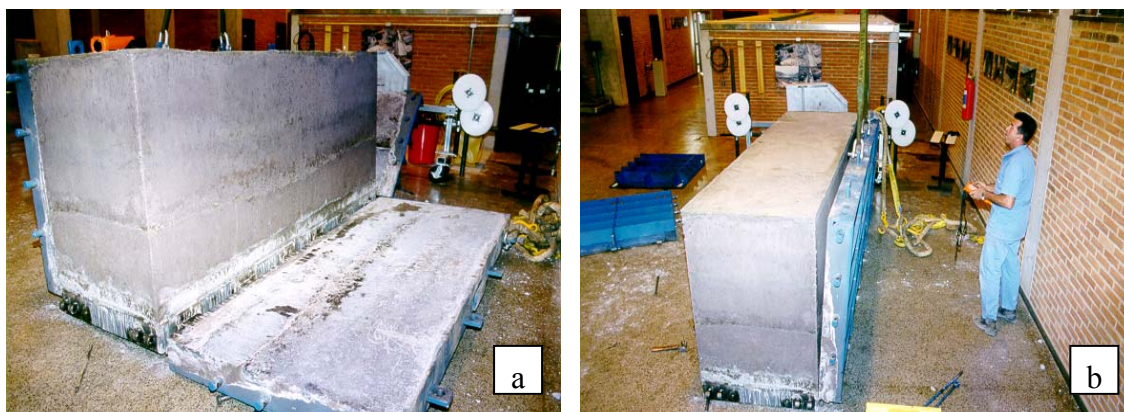


Figura 4.45 : Desforma do maciço. (a) desforma lateral do maciço; (b) continuação da desforma do maciço de CCR.

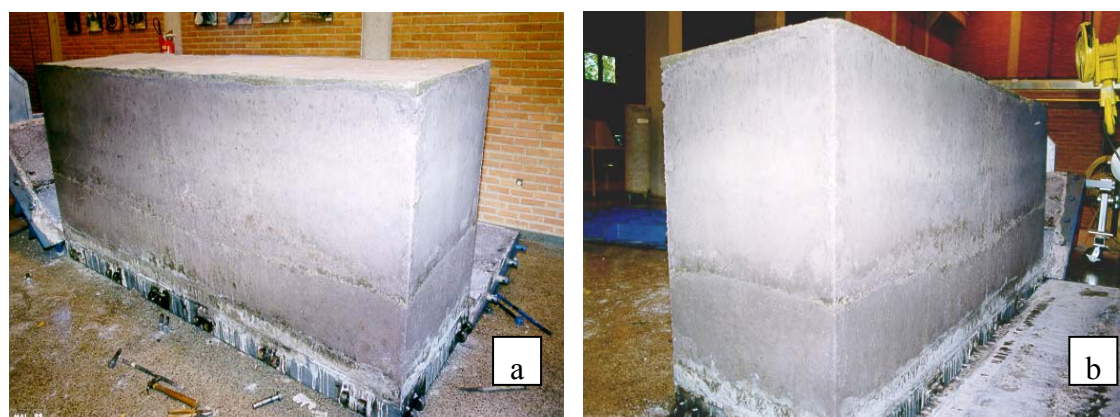


Figura 4.46 : Desforma do maciço. (a) vista lateral do maciço; (b) vista geral do maciço após desforma.

Após 90 dias de idade, é realizada uma campanha de extração de testemunhos dos maciços nos sentidos horizontal e vertical para a caracterização das propriedades do CCR. A extração dos testemunhos, o corte com fio diamantado para descarte dos maciços e o aspecto do CCR após corte do maciço estão ilustrados nas Figuras 4.47 (a) e (b) e 4.48 (a) e (b).



Figura 4.47 : Extração de testemunhos. (a) vista geral da extração de testemunhos; (b) retirada do testemunho extraído.

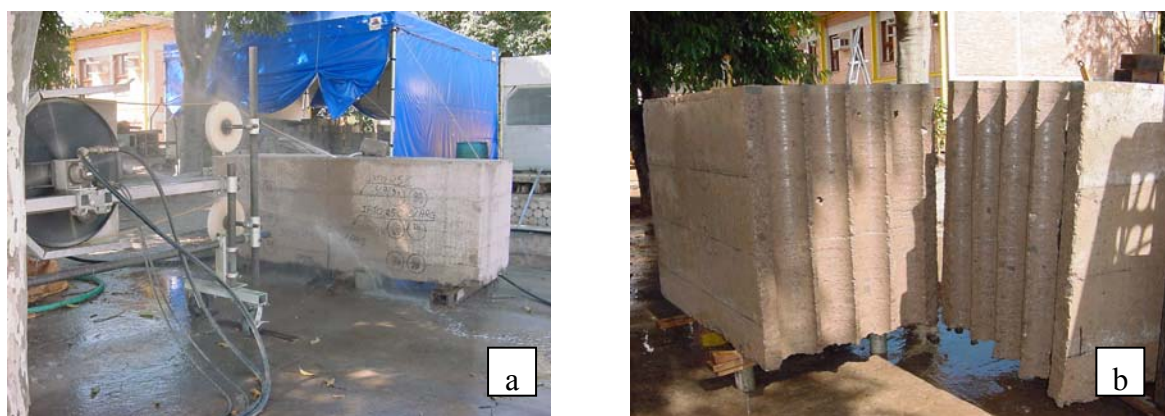


Figura 4.48 : Corte com fio diamantado. (a) corte com fio diamantado do maciço; (b) vista da seção transversal do maciço após corte com fio diamantado.

4.6.4. Extração de Testemunhos

Normalmente, o controle de qualidade de obras em construção é realizado através de um processo de caracterização dos materiais e do concreto aplicado. Quando surgem dúvidas sobre a qualidade do concreto de obras já existentes, sugere-se que se faça uma campanha de extração de testemunhos para avaliar o seu desempenho na estrutura, pois trata-se de uma técnica já consagrada e de grande confiabilidade no meio técnico. Em grandes empreendimentos a extração de testemunhos, aliada ao controle de qualidade, é de suma importância para garantir e certificar o sistema de garantia da qualidade.

O surgimento do CCR intensificou ainda mais a necessidade de se realizar controles de qualidade utilizando testemunhos extraídos da estrutura, pois há a necessidade de verificar

os resultados de campo simulados em ensaios com corpos-de-prova moldados, além de testar o material com as características que lhe são conferidas durante todo processo construtivo (MARQUES FILHO, 2005).

Segundo recomendações da ASTM C 42/C43M (2004), a relação entre o diâmetro dos testemunhos e a Dimensão Máxima Característica dos Agregados deve ser, preferencialmente, superior ou igual a 3 (três). A altura dos testemunhos também é muito importante, pois de acordo com as pesquisas realizadas por BARLETT e MACGREGOR (1994), a relação altura / diâmetro deve ser superior a 1,5. Diversas normas nacionais e internacionais recomendam correções para os resultados de ensaio à compressão para relações altura / diâmetro inferiores a 2,0 (ASTM C42, 2004; BS 1881, 1983; BS 1880, 1988; NBR 6118, 2003).

Muitas vezes existem limitações no campo que impossibilitam a realização de uma campanha de extração de testemunhos e os maciços experimentais confeccionados em laboratório tornam essa tarefa mais simples, devido à facilidade de manuseio e transporte das mesmas. Deve-se levar em consideração o tamanho e a forma dos testemunhos (AHMED, 1999; MARQUES FILHO *et al.*, 1999).

De acordo com as pesquisas realizadas por Ahmed (1999), onde foram realizados vários ensaios com testemunhos extraídos de um concreto convencional com agregado de Dimensão Máxima Característica de 19 mm, os resultados com os testemunhos de 75 mm foram até 30 % inferiores aos obtidos com os de 100 mm

Não se pode esquecer que o CCR com alto teor de finos possui um consumo de aglomerante relativamente baixo, se comparado aos concretos convencionais usados em estruturas de edificações e normalmente são utilizados cimentos pozolânicos em combinação de uma adição mineral, onde o ganho de resistência se dá em idades mais avançadas. Durante o processo de extração são aplicadas tensões laterais nas partículas dos agregados em função do atrito ao longo da superfície de corte que são transmitidas à zona transição, que representa o ponto de menor resistência mecânica. Devido a este fato pode-se considerar que a perda de resistência seria acentuada em testemunhos de menor diâmetro (MARQUES FILHO, 2005).

Levando-se em consideração a perda de resistência devido às dimensões do testemunho, aliada a um possível alívio das tensões de confinamento no testemunho, e as diferenças de cura entre o campo e o laboratório, admite-se que o coeficiente de variação obtido em programa de ensaios em testemunhos deva ser maior que programas equivalentes em corpos-de-prova moldados (MARQUES FILHO, 2005).

Pesquisas realizadas com concreto convencional por PORTLAND CEMENT

ASSOCIATION (1987) e AHMED (1999) apresentaram uma queda entre 10% e 25% da resistência à compressão nos ensaios realizados em testemunhos em relação a corpos-de-prova moldados.

De acordo com Marques Filho (2005), para iniciar o processo de extração de testemunhos, o CCR deve ter idade mínima de 90 dias, uma vez que o teor de aglomerante é relativamente baixo e nas primeiras idades, durante a sondagem, o concreto é facilmente lavado, provocando a separação do agregado da pasta e a destruição da superfície lateral. Existem ainda as rupturas que ocorrem ao longo do testemunho devido aos esforços de tração e torção provocados pelo peso do próprio do testemunho e pela alta rotação do equipamento de extração.

Uma vez que os maciços atingem a idade de 90 dias, os testemunhos são extraídos conforme um plano de extração previamente estudado e procura-se maximizar a quantidade de testemunhos sem que um furo interfira nos demais. Nas Figuras 4.49 e 4.50 estão apresentados os planos de extração elaborados para esta pesquisa e na Figura 4.51 (a) e (b) o aspecto dos maciços devidamente marcados conforme os planos de extração.

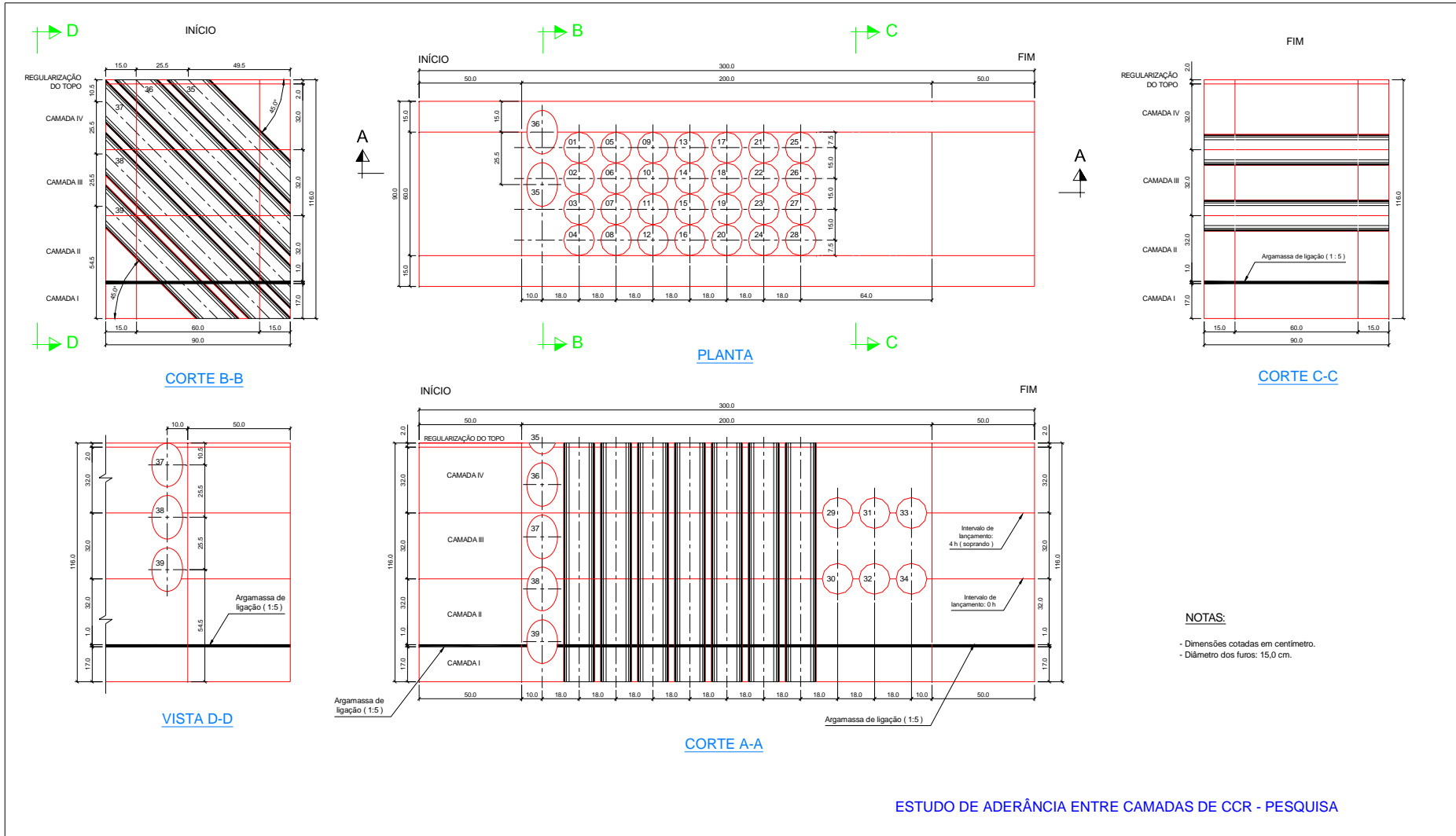


Figura 4.49 : Plano de extração dos maciços experimentais números de 01 a 06.

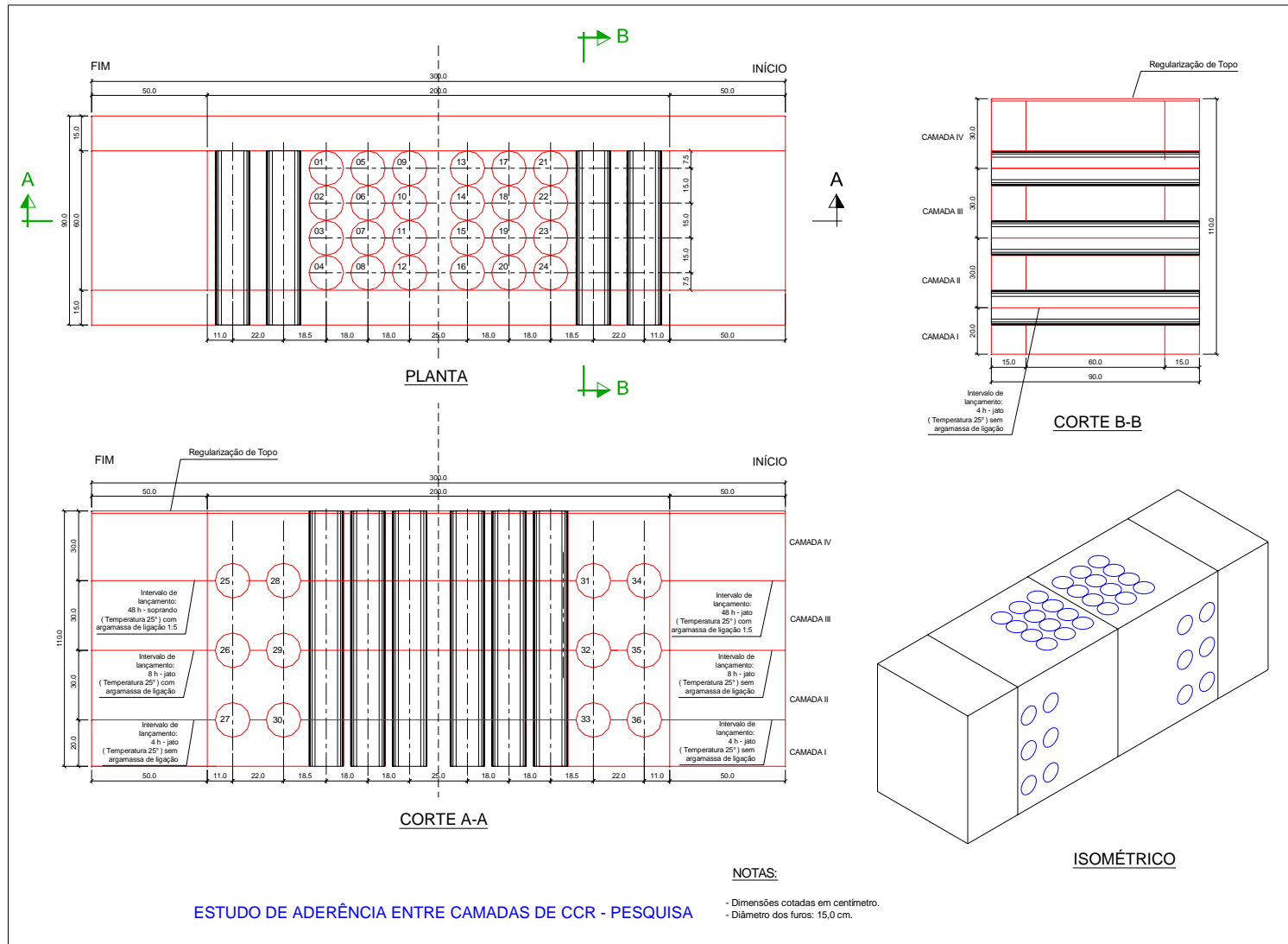


Figura 4.50 : Plano de extração dos maciços experimentais números de 07 a 10.

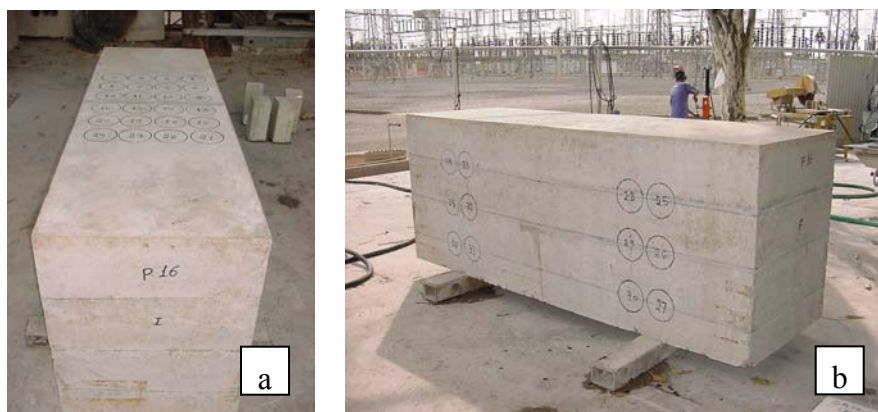


Figura 4.51 : Maciço experimental. (a) vista superior do maciço; (b) vista lateral do maciço.

Após a extração, os testemunhos foram cortados, retificados seus tops e preparados para que atendessem as exigências preconizadas de norma, para a realização dos ensaios de caracterização física.

Para as campanhas de extração de testemunhos foram utilizadas duas sondas diferentes. Nos primeiros 6 (seis) maciços experimentais executados nesta pesquisa, foi utilizada perfuratriz elétrica com avanço manual Mach 920; e nos demais foi utilizada Perfuratriz Hilti DD 250, que possui motor de alto desempenho com quatro velocidades variando entre 275 e 1800 rotações por minuto, e potência nominal de 2400 W. Os dois equipamentos utilizaram coroa diamantada de 6" (150 mm) acoplada a um barrilete de 1,2 m de comprimento. Na Figura 4.52 (a) e (b) estão apresentadas as sondas Mach 920 e a Hilti DD 250.

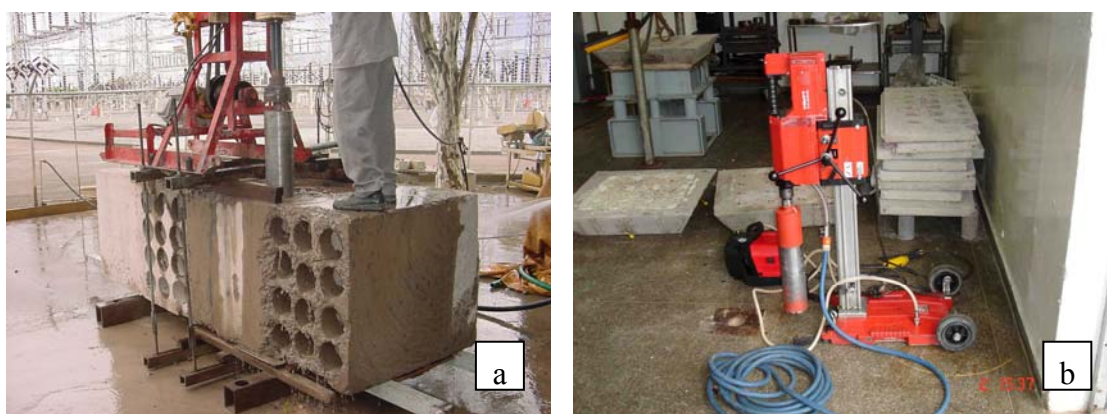


Figura 4.52 : Sondas de extração de testemunhos. (a) sonda Mach 920 em operação; (b) detalhe da sonda Hilti DD 250.

Nas Figuras 4.53 a 4.56 está apresentada uma seqüência de procedimentos de extração de

testemunhos na vertical e na horizontal, corte de testemunhos cilíndricos com serra circular, corte do maciço com o auxílio de fio diamantado, preparação e reparo dos topos dos testemunhos com argamassa danificados durante o processo de extração e corte.



Figura 4.53 : Extração de testemunhos. (a) extração vertical; (b) detalhe da retirada do testemunho.



Figura 4.54 : Extração horizontal.

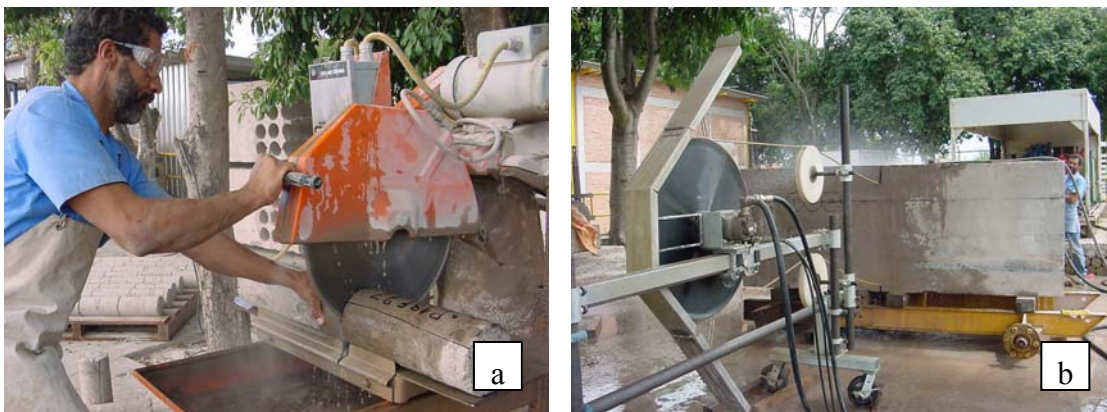


Figura 4.55 : Corte do testemunho. (a) corte em serra circular; (b) Corte do maciço com fio diamantado.

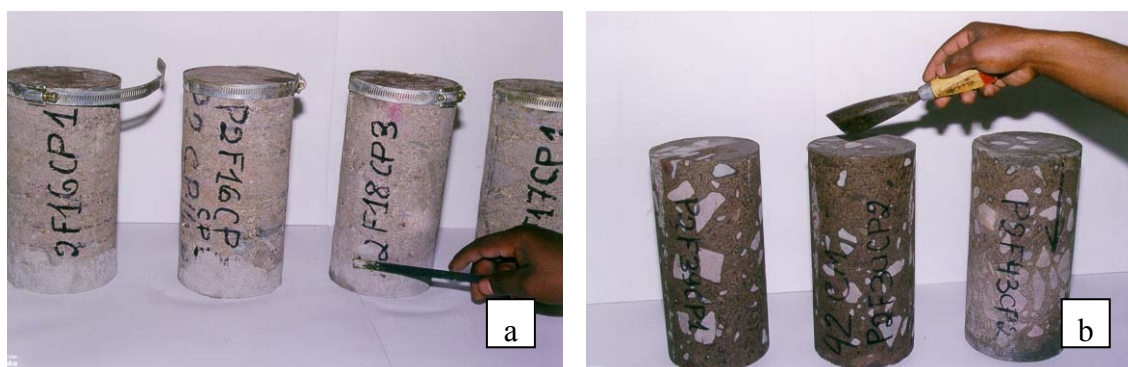


Figura 4.56 : Preparação dos testemunhos. (a) reparo e acabamento nos tops; (b) testemunhos após o acabamento com argamassa.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste Capítulo estão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados no programa experimental.

Inicialmente são discutidos os resultados dos ensaios de caracterização do concreto fresco no intuito de mostrar a uniformidade e o controle de qualidade do CCR produzido.

Em seguida são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização realizados com concreto endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração simples, módulo de elasticidade, resistência ao cisalhamento direto e permeabilidade à água), utilizando corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos das camadas dos maciços experimentais.

E finalmente são apresentados os resultados dos ensaios do concreto endurecido realizados em corpos-de-prova moldados com junta (executados em duas etapas simulando as juntas dos maciços) e testemunhos extraídos na junta entre camadas de CCR do maciço experimental, sendo apresentadas as respectivas análises estatísticas, realizadas com o intuito de dar sustentação matemática às interpretações expostas.

5.1. PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Para garantir o controle de qualidade e a uniformidade do CCR produzido para a confecção dos maciços experimentais, foram realizados ensaios em concreto fresco (*Cannon Time*, Massa Específica – VeBê, Massa Específica – DMA, Massa Específica – Densímetro Nuclear, Massa Específica – Estado Solto, Grau de Compactação, Umidade do CCR – Integral e Peneirado e Permeabilidade do CCR Fresco) em todas as camadas lançadas. Os resultados dos ensaios com concreto fresco encontram-se no Anexo A (CD-ROM).

Na Tabela 5.1 estão apresentados os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação dos ensaios realizados em concreto fresco.

Tabela 5.1 : Propriedades do concreto fresco

Propriedade	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Número de Ensaio
Cannon Time (s)	20	3	13,70	52
Massa Específica – VeBê (kg/m ³)	2523	16	0,62	52
Massa Específica – DMA (kg/m ³)	2559	22	0,86	50
Massa Específica – Densímetro (kg/m ³)	2531	24	0,97	147
Massa Específica – Solto (kg/m ³)	1694	67	3,96	52
Grau de Compactação (%)	98,9	0,5	0,50	52
Umidade do CCR integral (%)	7,1	0,55	7,73	33
Umidade do CCR peneirado (%)	8,76	0,74	8,48	31
Permeabilidade do CCR fresco (m/s)x10 ⁻⁸	3,238	0,88	27,21	39

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.1, nota-se que o CCR utilizado para a confecção dos maciços experimentais apresentou uma boa homogeneidade para cada propriedade do concreto fresco determinada, garantindo, assim, o bom controle de qualidade no processo de produção.

Apenas o ensaio de permeabilidade do CCR fresco teve um coeficiente de variação relativamente alto (27,21%), pois os valores mínimos e máximos obtidos para esta propriedade foram de $1,81 \times 10^{-8}$ (m/s) e $6,85 \times 10^{-8}$ (m/s), este fato pode ser atribuído a alta sensibilidade do ensaio. Porém, destaca-se que ambos estão na oitava casa decimal ($\times 10^{-8}$), assim, a análise desta propriedade deve ser feita levando-se em consideração o ponto de vista técnico, pois a determinação do coeficiente de permeabilidade do CCR fresco possibilita a realização de uma análise expedita do proporcionamento da mistura, fornecendo subsídios para os estudos de dosagem e controle de campo. Nascimento *et al.* (1996) e Botassi *et al.* (s.d.) determinaram coeficientes de permeabilidade do CCR fresco em amostras de concreto integral e de argamassa (concreto peneirado passante na # 4,8 mm) da mesma dosagem, e obtiveram resultados muito semelhantes aos obtidos neste trabalho, ou seja, resultados também na oitava casa decimal ($\times 10^{-8}$).

O grau de compactação (relação entre a massa específica teórica e a massa específica obtida) é outra técnica utilizada para controlar a densidade em campo. Utilizando agregado granítico, Graça *et al.* (2004) investigaram a influência do grau de compactação utilizando CCR com alto teor de finos, onde verificaram a sua importância para melhorar o desempenho do CCR nas propriedades mecânicas, mostrando uma tendência de convergir para graus de compactação

crecipientes, inclusive nos resultados em testemunhos.

A massa específica foi determinada através de três metodologias diferentes - VeBê, DMA e Densímetro nuclear – todos os três processos apresentaram resultados satisfatórios com coeficientes de variação baixos, cujos valores levam à obtenção de graus de compactação superiores a 98 %, limite este estabelecido para o CCR utilizado neste trabalho.

5.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

São apresentados e discutidos neste item os resultados de resistência à compressão, massa específica, resistência à tração simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, permeabilidade e cisalhamento direto, considerados como propriedades de caracterização do CCR.

Conforme descrito anteriormente, juntamente com a execução dos maciços experimentais em laboratório foi efetuado o controle de qualidade do concreto, através da moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, para as idades de 7dias, 28dias, 90dias, 120dias, 180dias, 365dias, que permitem uma comparação com os resultados obtidos com os testemunhos extraídos dos maciços confeccionados em laboratório.

No decorrer do processo de obtenção de testemunhos para caracterizar o CCR, tanto na camada quanto na junta, notou-se que a idade mínima de espera para extração é de 90 dias. Este fato é devido ao baixo consumo de cimento no CCR (90 kg/m^3) e ao cimento pozolânico (CP IV-32) utilizado para a confecção dos maciços, o qual tem um ganho de resistência significativo a partir de 90 dias de idade, que lhe permite suportar o desgaste provocado pelo equipamento de extração sem haver desagregação ou lavagem do concreto extraído. Portanto, foram adotadas as idades de controle de 120dias, 180dias e 365dias. Este tipo de procedimento é normalmente adotado durante o controle de qualidade de uma obra em construção, conforme mencionado e descrito por MOSER *et al.* (2003).

5.2.1. Resistência à compressão e massa específica

Nas Tabelas 5.2 e 5.3 estão apresentados os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão e massa específica realizados em corpos-de-prova moldados e em testemunhos extraídos dos maciços experimentais. Os

resultados dos ensaios de resistência à compressão e massa específica encontram-se no Anexo B (CD-ROM).

Tabela 5.2 : Resistência à compressão e massa específica em corpos-de-prova moldados.

	Resistência à Compressão					
Idade (dia)	7	28	90	120	180	365
Média (MPa)	2,29	4,40	8,15	10,33	10,40	12,57
Desvio Padrão (MPa)	0,25	0,40	0,66	0,85	1,14	0,65
Coeficiente de Variação (%)	10,8	9,1	8,1	8,2	10,9	5,2
Número de Ensaio	9	23	20	18	14	3
	Massa Específica					
Idade (dia)	7	28	90	120	180	365
Média (kg/m ³)	2524	2542	2538	2528	2539	2542
Desvio Padrão (kg/m ³)	16,66	14,40	15,15	14,09	25,02	18,15
Coeficiente de Variação (%)	0,7	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7
Número de Ensaio	5	20	17	15	15	3

Tabela 5.3 : Resistência à compressão e massa específica em testemunhos extraídos.

	Resistência à Compressão (MPa)			Massa Específica (kg/m³)		
Idade (dia)	120	180	365	120	180	365
Média	7,56	7,60	8,62	2530	2515	2500
Desvio Padrão	1,45	1,34	1,89	21,47	41,58	51,08
Coeficiente de Variação (%)	19,2	17,6	22,0	0,8	1,7	2,0
Número de Ensaio	79	48	17	80	40	16

Na Figura 5.1 está apresentada a evolução da resistência à compressão do CCR em função do tempo para corpos-de-prova moldados a partir de 7 dias até 365 dias de idade e de testemunhos extraídos a partir de 120 dias até 365 dias de idade.

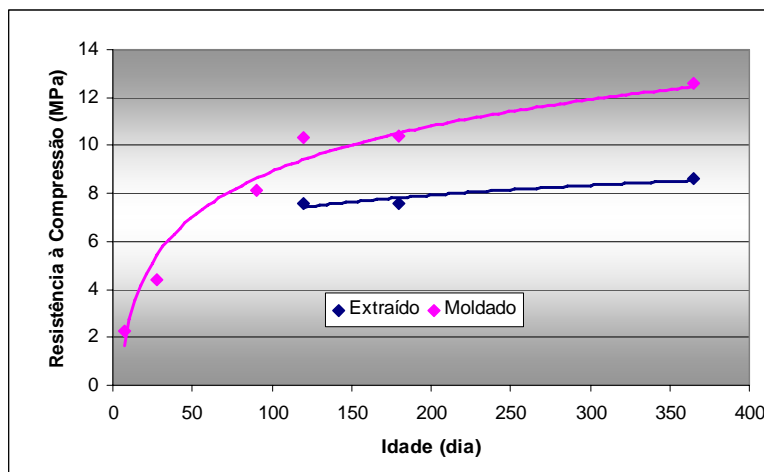


Figura 5.1 : Resistência à compressão e massa específica em testemunhos extraídos.

Conforme já mencionado no capítulo 4, para o concreto convencional, a PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1987) e AHMED (1999) afirmaram que há uma queda entre 10% e 25% da resistência à compressão nos ensaios realizados em testemunhos em relação a corpos-de-prova moldados. Fazendo-se uma análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, nota-se que para o CCR, também há uma queda de resistência dos testemunhos extraídos em relação aos corpos-de-prova moldados, porém, de aproximadamente 20% a 30%. O aumento da queda de resistência em testemunhos de CCR também pode ser atribuído ao baixo consumo de cimento.

A determinação da massa específica no concreto endurecido é de suma importância para garantir a determinação do grau de compactação mínimo de 98% e a qualidade do CCR pós-lançamento. Os resultados dos ensaios apresentaram coeficientes de variação consideravelmente baixos (máximo de 1% para os corpos-de-prova moldados e 2% para os testemunhos extraídos), assegurando, assim a homogeneidade do concreto utilizado.

5.2.2. Resistência à tração simples

Na Tabela 5.4 estão apresentados os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à tração simples, realizados em corpos-de-prova moldados e em testemunhos extraídos dos maciços experimentais. Os resultados dos ensaios de resistência à tração simples encontram-se no Anexo C (CD-ROM).

Tabela 5.4 : Resistência à tração simples em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos

	Corpos-de-prova moldados					
Idade (dia)	7	28	90	120	180	365
Média (MPa)	0,25	0,54	0,90	0,99	1,03	1,15
Desvio Padrão (MPa)	0,18	0,31	0,31	0,13	0,12	0,05
Coefficiente de Variação (%)	71,1	58,3	34,5	12,9	11,3	4,3
Número de Ensaio	6	6	6	3	5	2
	Testemunhos extraídos					
Média (MPa)	---	---	---	0,64	0,65	0,67
Desvio Padrão (MPa)	---	---	---	0,16	0,15	0,04
Coefficiente de Variação (%)	---	---	---	24,4	23,3	6,6
Número de Ensaio	---	---	---	16	17	4

Na Figura 5.2 está apresentada a evolução da resistência à tração simples do CCR em função do tempo para corpos-de-prova moldados a partir de 7 dias até 365 dias de idade e de testemunhos extraídos a partir de 120 dias até 365 dias de idade. De posse dos dados estatísticos, nota-se que o coeficiente de variação diminuiu de acordo com a evolução da idade.

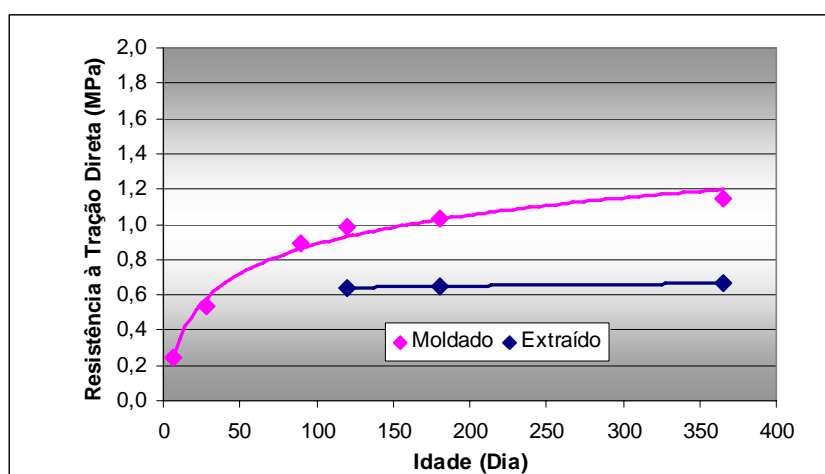


Figura 5.2 : Resistência à Tração Direta x Idade.

Segundo Marques Filho (2005), tanto para os corpos-de-prova moldados como para os testemunhos extraídos, as altas dispersões no ensaio de tração simples está sujeita à dificuldade de manutenção da axialidade do dispositivo utilizado durante a execução do ensaio e pelo traumatismo do processo de obtenção.

Assim, como na resistência à compressão, os testemunhos extraídos tiveram uma queda

significativa de resistência à tração em relação aos corpos-de-prova moldados, de aproximadamente 35% a 42%.

5.2.3. Resistência à tração por compressão diametral

Na Tabela 5.5 estão apresentados os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, realizados em corpos-de-prova moldados e em testemunhos extraídos dos maciços experimentais. Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral encontram-se no Anexo D (CD-ROM).

Tabela 5.5 : Resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos

	Corpos-de-prova moldados					
Idade (dia)	7	28	90	120	180	365
Média (MPa)	0,23	0,64	1,24	1,53	1,66	1,86
Desvio Padrão (MPa)	0,07	0,07	0,10	0,16	0,12	0,06
Coeficiente de Variação (%)	30,3	11,2	7,9	10,4	7,3	3,0
Número de Ensaios	5	5	5	18	5	2
	Testemunhos extraídos					
Média (MPa)	---	---	---	1,25	1,29	1,36
Desvio Padrão (MPa)	---	---	---	0,27	0,20	0,37
Coeficiente de Variação (%)	---	---	---	21,3	15,2	27,2
Número de Ensaios	---	---	---	12	11	3

Na Figura 5.3 está apresentada a evolução da resistência à tração por compressão diametral do CCR em função do tempo para corpos-de-prova moldados a partir de 07 dias até 365 dias de idade e de testemunhos extraídos a partir de 120 dias até 365 dias de idade.

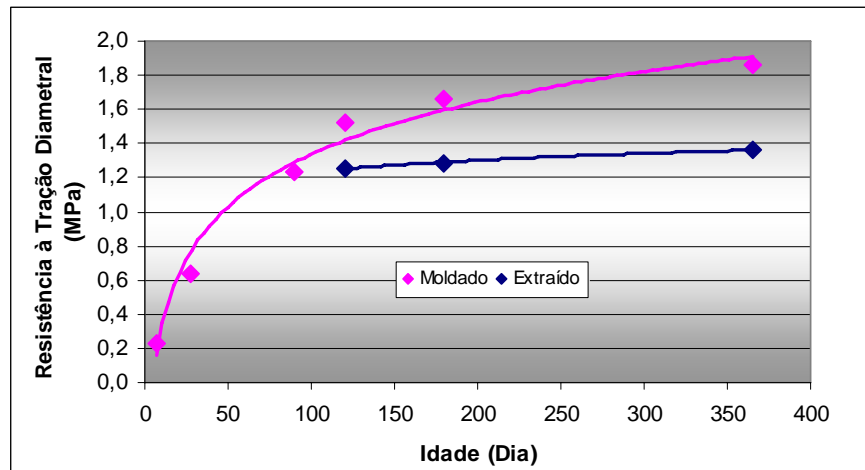


Figura 5.3 : Resistência à Tração por Compressão Diametral x Idade.

Na análise dos resultados obtidos para concretos com as idades de 120 dias, 180 dias e 365 dias, nota-se um comportamento semelhante às outras propriedades mecânicas, ou seja, houve um decréscimo da resistência à tração por compressão diametral dos testemunhos extraídos em relação aos corpos-de-prova moldados, na faixa de 18% a 30%.

5.2.4. Módulo de Elasticidade

Na Tabela 5.6 estão apresentados os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação dos ensaios de módulo de elasticidade, realizados em corpos-de-prova moldados e em testemunhos extraídos dos maciços experimentais. Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade encontram-se no Anexo E (CD-ROM).

Tabela 5.6 : Módulo de Elasticidade em corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos

	Corpos-de-prova moldados					
Idade (dia)	7	28	90	120	180	365
Média (GPa)	5,60	16,88	27,84	32,21	33,87	37,14
Desvio Padrão (GPa)	2,76	5,41	2,81	3,37	4,05	5,71
Coeficiente de Variação (%)	49,3	32,0	10,1	10,5	12,0	15,4
Número de Ensaios	5	5	3	18	3	2
	Testemunhos extraídos					
Média (GPa)	---	---	---	14,29	15,10	17,17
Desvio Padrão (GPa)	---	---	---	2,87	3,78	4,44
Coeficiente de Variação (%)	---	---	---	20,1	25,0	25,8
Número de Ensaios	---	---	---	69	34	9

Na Figura 5.4 está apresentada a evolução do módulo de elasticidade do CCR em função do tempo para corpos-de-prova moldados a partir de 07 dias até 365 dias de idade e de testemunhos extraídos a partir de 120 dias até 365 dias de idade.

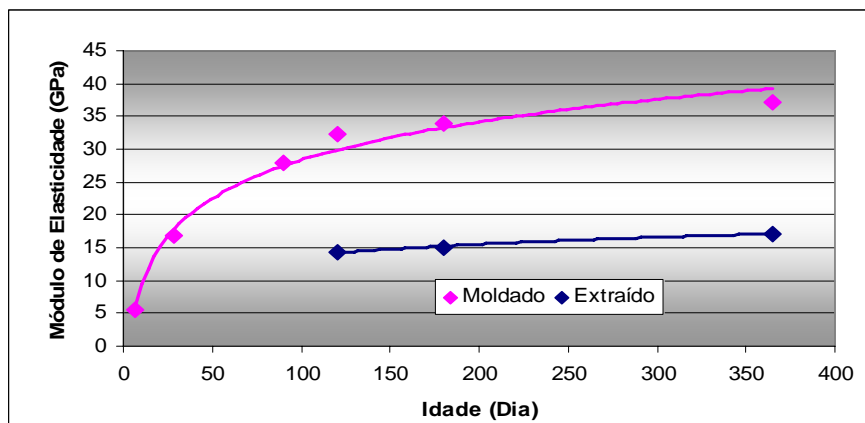


Figura 5.4 : Módulo de Elasticidade x Idade.

O CCR é um concreto com características de dosagem peculiares e com consumo de cimento relativamente pobre, principalmente se comparado ao concreto convencional. Porém, o comportamento do módulo de elasticidade, utilizando corpos-de-prova moldados, assemelha-se muito ao concreto convencional com consumos de cimento mais elevados, embora o comportamento das curvas seja parecido com o comportamento das curvas do concreto massa convencional (FURNAS, 1997).

Este elevado módulo de elasticidade do CCR em relação ao concreto convencional é devido, principalmente, à redução da porosidade da argamassa, em função do melhor adensamento e ao baixo teor de água de amassamento no concreto. Outro fator que influencia fortemente o módulo de elasticidade, tanto do concreto convencional como do CCR, é o módulo de elasticidade do agregado (FURNAS, 1997).

Fazendo-se uma análise da Figura 5.4, observa-se que o comportamento desta propriedade, comparando-se corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos, é semelhante à resistência à compressão, uma vez que estas duas propriedades estão diretamente ligadas. Nota-se também, que há um comportamento similar à resistência à tração direta e a tração por compressão diametral. Portanto, foi verificada, assim como nas outras propriedades, uma queda nos resultados dos módulos de elasticidade dos testemunhos em relação aos corpos-de-prova moldados, porém, numa faixa mais elevada, entre 50% e 56%.

A alta dispersão e a queda dos resultados podem ser atribuídas ao processo de obtenção do testemunho que provoca um traumatismo na sua estrutura (MARQUES FILHO, 2005).

5.2.5. Cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados de acordo com o Procedimento FURNAS N° 04.007.006, conforme a seqüência de atividades e o equipamento descrito no Capítulo 4. Para a definição da envoltória de resistência de Mohr-Coulomb são realizados ensaios para determinação das resistências tangenciais utilizando três valores de tensão normal, 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa.

Antes de se realizar uma análise do comportamento de resistência das juntas surge a necessidade de se caracterizar o CCR fora da junta, pois, estes resultados de cisalhamento servirão de balizamento ou até mesmo de referência para avaliar o desempenho de todos os processos de tratamento das juntas entre camadas, adotados neste trabalho.

Na Tabela 5.7 e Figura 5.5 estão apresentados os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação das tensões cisalhantes para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa, realizados em corpos-de-prova moldados para as idades de 90 dias, 120 dias, 180 dias e 365 dias. Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto encontram-se no Anexo F (CD-ROM).

Tabela 5.7 : Tensões cisalhantes em corpos-de-prova moldados.

	Tensão Normal 900 kPa			
Idade (dia)	90	120	180	365
Média (kPa)	1984,0	2196,0	2522,5	2519,5
Desvio Padrão (kPa)	211,2	201,4	211,4	292,0
Coeficiente de Variação (%)	10,6	9,2	8,4	11,6
Número de Ensaios	4	5	2	2
	Tensão Normal 1800 kPa			
Idade (dia)	90	120	180	365
Média (kPa)	2942,8	3065,2	3187,0	3504,5
Desvio Padrão (kPa)	134,9	383,9	273,1	27,6
Coeficiente de Variação (%)	4,6	12,5	8,6	0,8
Número de Ensaios	4	5	3	2
	Tensão Normal 2700 kPa			
Idade (dia)	90	120	180	365
Média (kPa)	3675,3	3612,3	3948,3	4323,0
Desvio Padrão (kPa)	158,9	148,1	230,8	56,6
Coeficiente de Variação (%)	4,3	4,1	5,8	1,3
Número de Ensaios	4	4	3	2

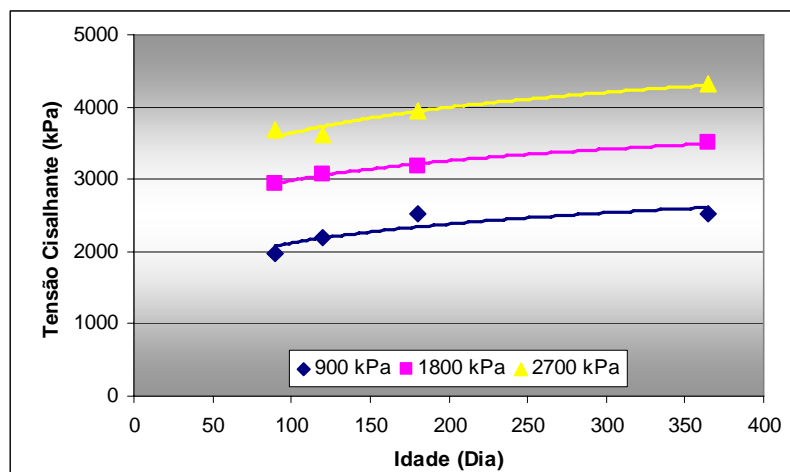


Figura 5.5 : Tensão Cisalhante x Idade corpos-de-prova moldados.

Na Figura 5.6 estão apresentadas as envoltórias de resistência de Mohr-Coulomb, determinadas a partir do ensaio de cisalhamento direto, aplicando-se as tensões normais supracitadas para as idades de 90 dias, 120 dias, 180 dias e 365 dias para corpos-de-prova moldados e para efeito de comparação, para a idade de 180 dias com testemunhos extraídos. Na Tabela 5.8 estão apresentados os valores de coesão, ângulo de atrito e a correlação do ajuste linear das envoltórias.

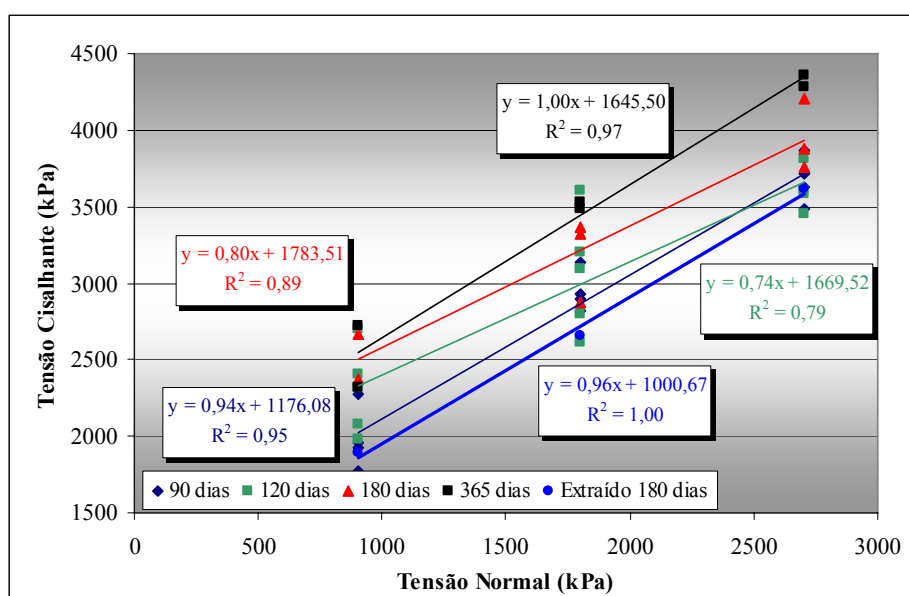


Figura 5.6 : Envoltórias de Resistência do CCR dos Maciços.

Tabela 5.8 : Valores da coesão, ângulo de atrito e correlação das envoltórias de resistência.

Idade (dia)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
90	1176,1	43,2	0,95
120	1669,5	36,4	0,79
180	1783,51	38,5	0,89
365	1645,5	45,1	0,97
180 (Extraído)	1000,7	43,7	1,00

A análise desta propriedade foi realizada em função das tensões cisalhantes obtidas para cada tensão normal aplicada. Segundo Marques Filho (2005), este tipo de análise é realizado devido à sensibilidade dos parâmetros da reta da envoltória em relação às variações que podem surgir durante a execução do ensaio, e conseqüentemente, podem levar à obtenção de valores de coesão e ângulo de atrito (Figura 5.6 e Tabela 5.8), que não correspondem satisfatoriamente aos valores das tensões cisalhantes obtidas. Os valores das tensões cisalhantes estão apresentados na Tabela 5.7 e nota-se um ganho de resistência entre 90 dias e 365 dias de aproximadamente 21% para carga normal de 900 kPa e de 15% para as cargas normais de 1800 kPa e 2700 kPa. Estes incrementos são inferiores aos obtidos para as resistências à tração simples, à tração por compressão diametral e à compressão no mesmo período.

De forma similar às outras propriedades mecânicas, está apresentado também na Figura 5.6, a envoltória de resistência ao cisalhamento direto de testemunhos extraídos ensaiados aos 180 dias de idade e nota-se um decréscimo médio da ordem de 18% em relação à envoltória obtida no ensaio realizado com corpos-de-prova moldados para a mesma idade.

5.3. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS JUNTAS

A avaliação das propriedades das juntas dos maciços experimentais de CCR foi realizada mediante os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, tração simples, resistência ao cisalhamento direto e permeabilidade à água. A seqüência de análise desenvolvida é descrita a seguir.

Inicialmente, devido ao elevado número de combinações entre as diferentes variáveis estudadas e seus respectivos níveis, tornou-se impraticável moldar e extrair testemunhos de todas as situações estudadas. Em razão disto, foram geradas quantidades de resultados diferentes para os dois tipos de corpos-de-prova (moldado e extraído), impossibilitando incluir esta variável juntamente com os demais em uma só análise global. Por este motivo, realizou-se uma análise

em separado para a variável tipo de corpo-de-prova (*One-way* ANOVA) e na análise das demais variáveis os resultados foram separados em dois grupos: moldados e extraídos.

Em seguida, foi realizada uma análise da variável idade (*One-way* ANOVA), com o intuito de identificar as idades de referência mais adequadas para a análise das demais variáveis principais: Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição, Utilização de Argamassa de Ligação e Tipo de Tratamento da Superfície. Como resultado principal, verificou-se que não há diferenças significativas entre as idades analisadas, 120 dias e 180 dias. Em virtude disto, todos os dados obtidos foram reunidos em um único grupo de análise.

Posteriormente realizou-se uma ANOVA multifatorial para as quatro variáveis principais citadas no parágrafo anterior, particularmente para os níveis em comum da variável Intervalo de Lançamento, ou seja, 8 h e 12 h.

De acordo com o descrito no programa experimental, as juntas foram executadas com intervalos de lançamento diferentes para as situações com e sem utilização de argamassa de ligação, ou seja, intervalos de 0h, 4h, 8h e 12 h para juntas sem argamassa e 8h, 12h, 24h e 48 h para juntas com argamassa. Para que se possa fazer uma análise consistente da evolução das propriedades em função do intervalo de lançamento é necessário fazê-lo separadamente para as juntas com e sem argamassa de ligação. Deve-se ressaltar que este procedimento não prejudica a análise global do experimento, uma vez que a influência da variável Utilização de Argamassa já foi avaliada na ANOVA do passo anterior.

Finalmente, realizou-se a análise da evolução das propriedades em função do intervalo de lançamento em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se uma ANOVA multifatorial para as juntas sem utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento, que nesta fase apresenta os níveis de 0h, 4h, 8h e 12 h. Na segunda, realizou-se igual procedimento para as juntas com utilização de argamassa, ressaltando-se que nesta fase o Intervalo de Lançamento apresenta os níveis de 8h, 12h, 24h e 48 h.

Nas situações em que a variável Intervalo de Lançamento apresentou efeito significativo, foram realizadas comparações múltiplas de médias pelo método de Duncan (CENTENO, 1982), com o intuito de agrupar as médias que não diferem significativamente entre si e separar as que diferem, formando assim os grupos. Em todas as análises estatísticas realizadas foi mantido constante o nível de confiança em 95%.

Na Figura 5.7 está apresentado um fluxograma para descrever a seqüência das análises realizadas para as propriedades das juntas.

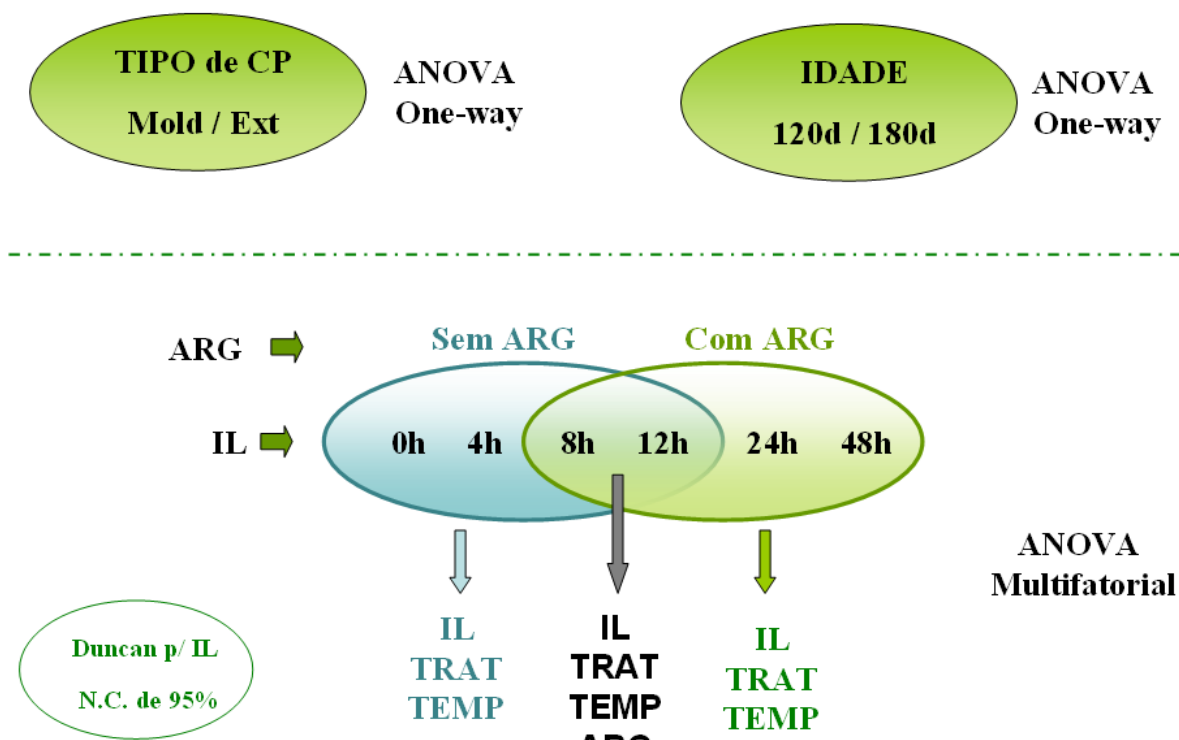


Figura 5.7 : Fluxograma de análise das propriedades das juntas

Os resultados obtidos nos ensaios nas juntas, bem como as análises estatísticas realizadas são apresentados e discutidos a seguir.

5.3.1. Resistência à Tração por Compressão Diametral

Os dados de resistência à tração por compressão diametral foram submetidos a análises de variância (ANOVA). Os resultados individuais de resistência à tração por compressão diametral são mostrados no Anexo H (CD-ROM). Nesta propriedade foram estudados apenas testemunhos extraídos horizontalmente entre camadas dos maciços experimentais.

5.3.1.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as quatro variáveis principais, com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h. estão resumidos na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral para os intervalos de lançamento de 8 h e 12 h

	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,00830	1	0,00830	0,14	4,00	não-signif.
Temperatura (°C)	0,06087	1	0,06087	1,03	4,00	não-signif.
Utilização de Argamassa	0,75161	1	0,75161	12,80	4,00	significativo
Tipo de Tratamento	0,25827	1	0,25827	4,40	4,00	significativo
Erro (resíduo)	3,46692	59	0,05876	--	--	--
Total	4,54597	63	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

A análise de variância evidenciou que os efeitos individuais das variáveis principais Intervalo de Lançamento e Temperatura de Exposição mostraram-se não-significativos. Por outro lado, as variáveis, Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento da Junta apresentaram influência estatisticamente significativa sobre a resistência à tração por compressão diametral.

Uma informação de grande importância para a tomada de decisão é a avaliação de qual variável apresenta maior influência sobre a propriedade em análise. Neste sentido, tomando-se como base de comparação o valor de F_{cal}, constata-se que a variável de maior influência foi a Utilização de Argamassa na junta entre camadas. Como informação adicional, ressalta-se que juntas com utilização de argamassa apresentaram um acréscimo médio de resistência da ordem de 30,6% em relação às juntas sem utilização de argamassa.

Nas Figuras 5.8 e 5.9 são apresentados os valores médios de resistência à tração por compressão diametral, com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média em função das variáveis Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento.

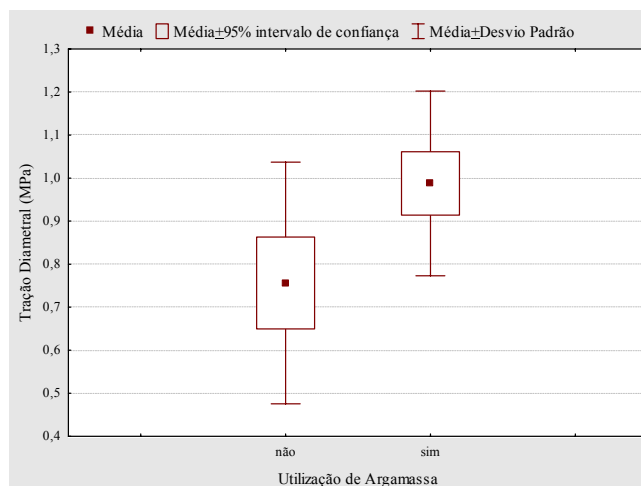


Figura 5.8 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função da Utilização de Argamassa. Intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

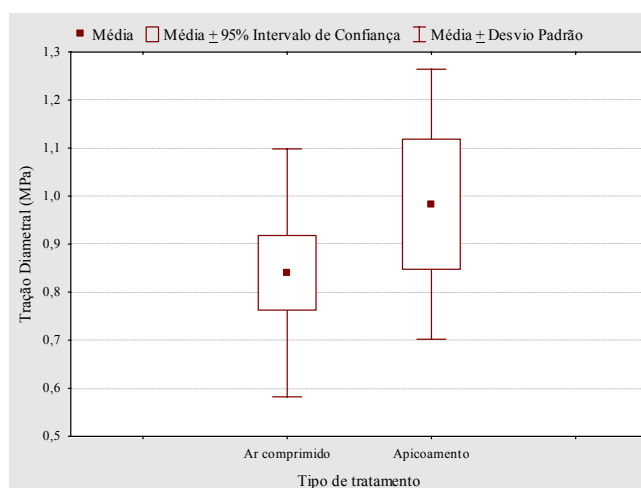


Figura 5.9 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Tipo de Tratamento. Intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

Da análise dos gráficos das Figuras 5.8 e 5.9 conclui-se que as situações que apresentaram o melhor desempenho foram com a utilização de argamassa de ligação e com o processo de apicoamento da junta entre camadas. Portanto, pode-se inferir que a combinação destas duas situações resulte em um desempenho otimizado da junta.

5.3.1.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas sem utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento que nesta fase apresenta os níveis de 0h, 4h, 8h e 12 h, estão resumidos na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h

	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,23995	3	0,07998	2,336	2,753	não-signif.
Temperatura (°C)	0,09363	1	0,09363	2,734	3,996	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,81121	1	0,81121	23,690	3,996	significativo
Erro (resíduo)	2,12303	62	0,03424	--	--	--
Total	3,26782	67	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

A análise de variância evidenciou que o único efeito significativo foi a variável Tipo de Tratamento da junta.

Na Figura 5.10 são apresentados os valores médios de resistência à tração por compressão diametral, com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média em função da variável Tipo de Tratamento. Analisando o gráfico da Figura 5.10 observa-se que juntas tratadas com apicoamento apresentaram resistências à tração superiores àquelas sopradas com ar comprimido.

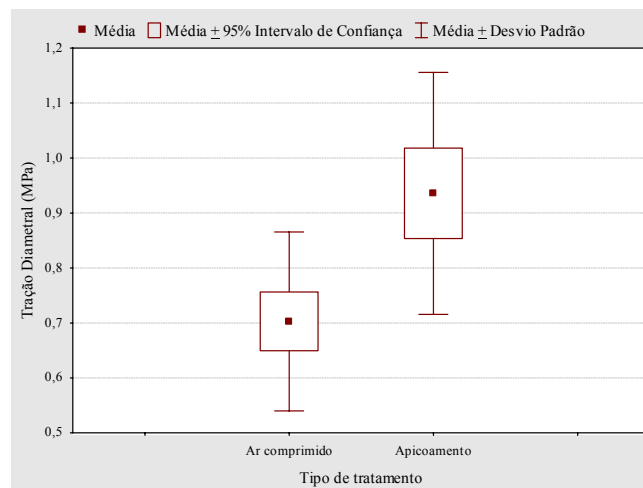


Figura 5.10 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Tipo de Tratamento. Juntas sem argamassa para intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

Deve-se destacar que, apesar de não ser um efeito estatisticamente significativo, a resistência à tração apresentou uma tendência de redução com o aumento do intervalo de lançamento, conforme pode ser observado na Figura 5.11. Vale salientar que este comportamento é similar aos resultados obtidos nos estudos realizados por Marques Filho, (2005).

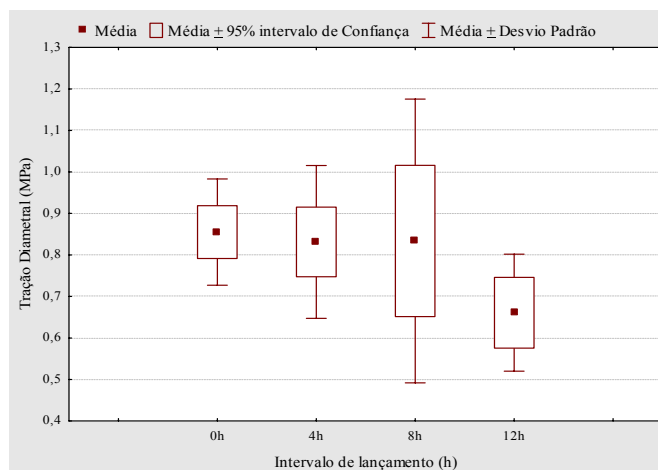


Figura 5.11 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Juntas sem argamassa.

5.3.1.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas com utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento que nesta fase apresenta os níveis de 8h, 12h, 24h e 48 h, estão resumidos na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração por compressão diametral em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,23809	3	0,07936	1,744	2,764	não-signif.
Temperatura (°C)	0,03580	1	0,03580	0,787	4,007	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,08040	1	0,08040	1,767	4,007	não-signif.
Erro (resíduo)	2,63960	58	0,04551	--	--	--
Total	2,99389	63	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Conforme foi constatado na análise de variância, nenhuma das variáveis avaliadas apresentou influência significativa. O que equivale dizer que para juntas com utilização de argamassa de ligação entre camadas, a variação do Intervalo de Lançamento, da Temperatura de Exposição e do Tipo de Tratamento – dentro dos limites estudados – não altera significativamente a resistência à tração por compressão diametral.

Nas Figuras 5.12 e 5.13 são apresentados os valores médios de resistência à tração por compressão diametral, com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento.

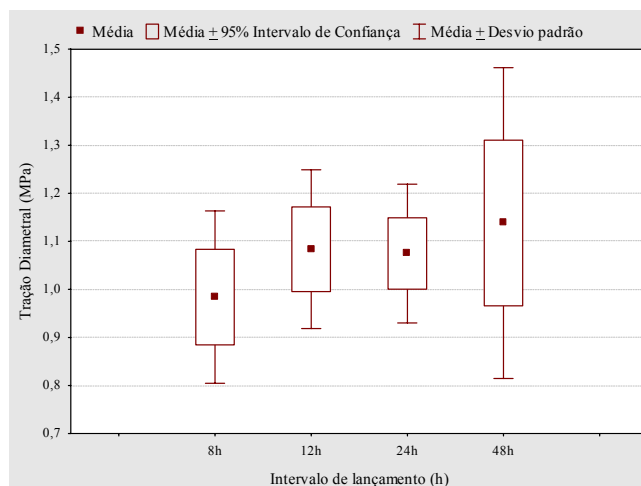


Figura 5.12 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Juntas com argamassa.

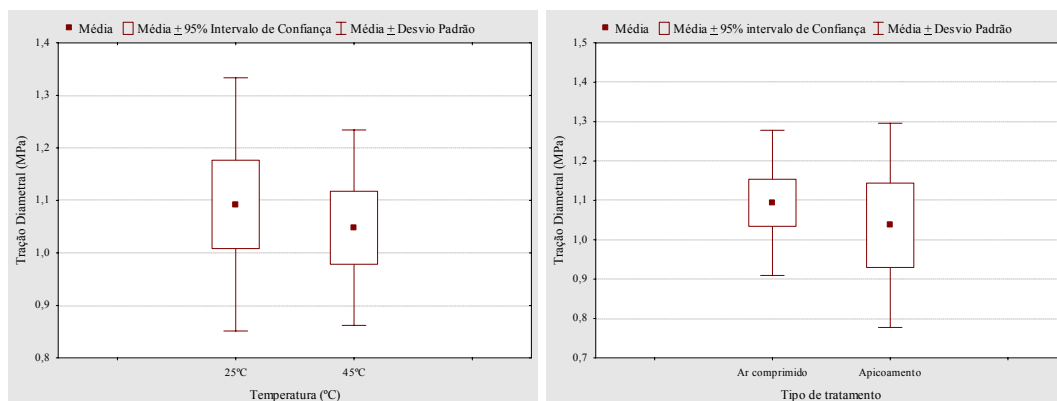


Figura 5.13 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função da Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento das juntas. Juntas com argamassa.

5.3.1.4. Considerações Gerais

Por fim, fez-se uma análise da resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento, abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Figura 5.14). Esta análise proporciona uma visão ampla da influência do Intervalo de Lançamento e da Utilização de

Argamassa de ligação na resistência à tração.

Observa-se, como apresentado anteriormente, uma leve tendência de redução da resistência à tração com o aumento do intervalo de lançamento para juntas sem argamassa (0 h a 12). Contrariamente, para juntas com utilização de argamassa (8 h a 48 h), nota-se uma ligeira tendência de acréscimo de resistência. Deve-se salientar que os efeitos de ambos os intervalos supracitados não são estatisticamente significativos (Tabelas 5.10 e 5.11).

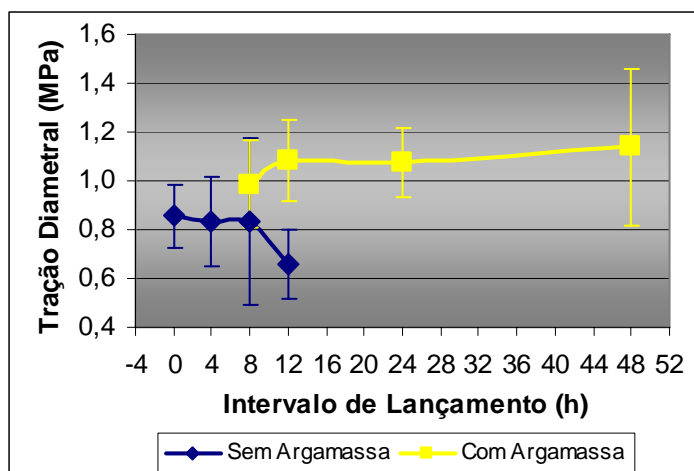


Figura 5.14 : Valores médios de resistência à tração por compressão diametral em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h.

Deve-se destacar o efeito positivo no acréscimo da resistência à tração quando da utilização de argamassa de ligação. Este efeito é claramente evidenciado na Figura 5.14 e confirma a análise estatística realizada anteriormente (Tabela 5.9).

5.3.2. Resistência à Tração Simples

Um parâmetro importante deste estudo é a comparação dos resultados obtidos com corpos-de-prova moldados e extraídos. Na ANOVA realizada para a variável Tipo de Corpo-de-prova foram evidenciadas diferenças significativas entre corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos, conforme apresentado na Figura 5.15. Adicionalmente, foi realizada uma comparação das médias, a partir da qual conclui-se que os corpos-de-prova extraídos tiveram um decréscimo médio de resistência à tração simples de 35,4% em relação aos corpos-de-prova moldados. Os resultados individuais são mostrados no Anexo I (CD-ROM).

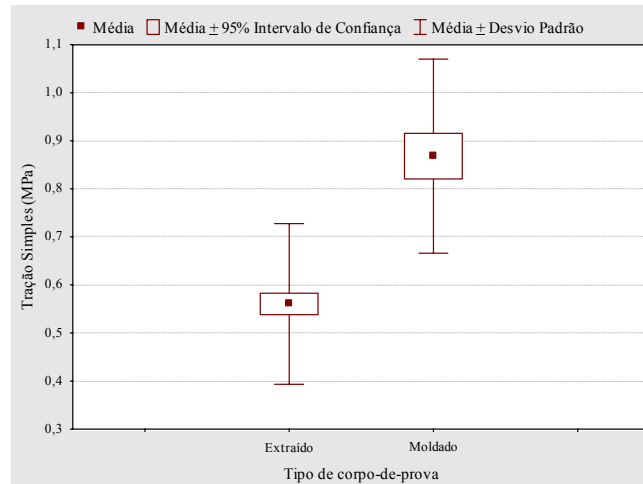


Figura 5.15 : Valores médios de resistência à tração simples em função do Tipo de corpo-de-prova com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média de 95%.

5.3.2.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as variáveis principais, com Intervalos de Lançamento de 8 h e 12 h. estão resumidos na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,06305	1	0,06305	2,5760	4,023	não-signif.
Temperatura (°C)	0,00963	1	0,00963	0,3933	4,023	não-signif.
Argamassa	0,13100	1	0,13100	5,3522	4,023	significativo
Tipo de Tratamento	0,09832	1	0,09832	4,0170	4,023	não-signif.
Erro (resíduo)	1,29720	53	0,02448	--	--	--
Total	1,5992	57	--	--	--	--
Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,00081	1	0,00081	0,0174	4,113	não-signif.
Temperatura (°C)	0,16435	1	0,16435	3,5316	4,113	não-signif.
Argamassa	0,01410	1	0,01410	0,3030	4,113	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,25078	1	0,25078	5,3889	4,113	significativo
Erro (resíduo)	1,67534	36	0,04654	--	--	--
Total	2,10538	40	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.16 a 5.19 são apresentados os valores médios de resistência à tração direta, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição, Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento. Destaca-se que apenas os efeitos da Utilização de Argamassa para corpos-de-prova extraídos e do Tipo de Tratamento para corpos-de-prova moldados foram significativos.

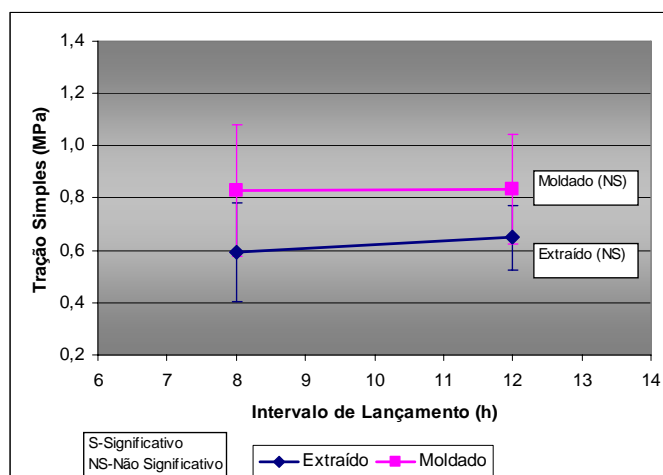


Figura 5.16 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

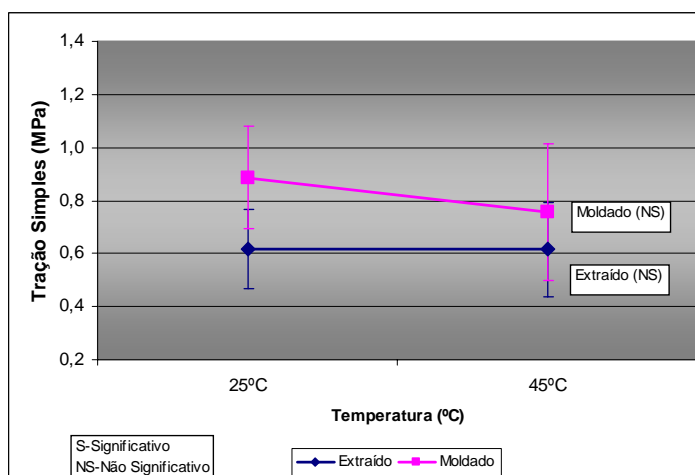


Figura 5.17 : Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

Assim como constatado para a resistência à tração por compressão diametral, a utilização de argamassa trouxe benefícios significativos para a resistência à tração simples em testemunhos extraídos. O mesmo efeito não foi observado para corpos-de-prova moldados (Figura 5.18).

A variável Tipo de Tratamento teve um efeito significativo para corpos-de-prova moldados, porém o comportamento verificado é contrário ao das outras propriedades, ou seja,

juntas tratadas com ar comprimido tiveram um desempenho superior àquelas tratadas com apicoamento (Figura 5.19).

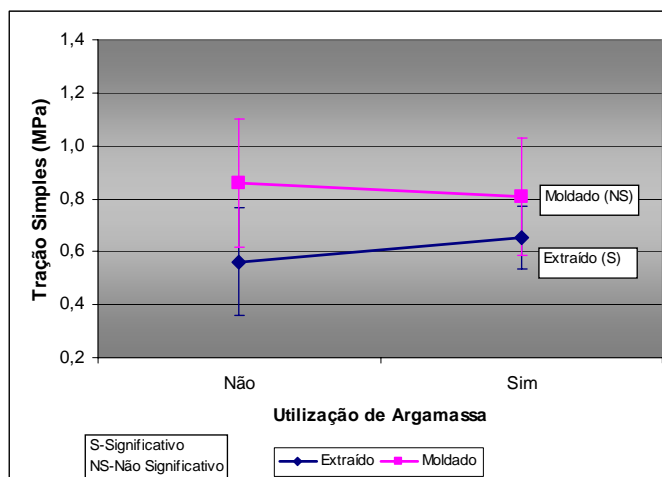


Figura 5.18 : Valores médios de resistência à tração direta em função da Utilização de Argamassa em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

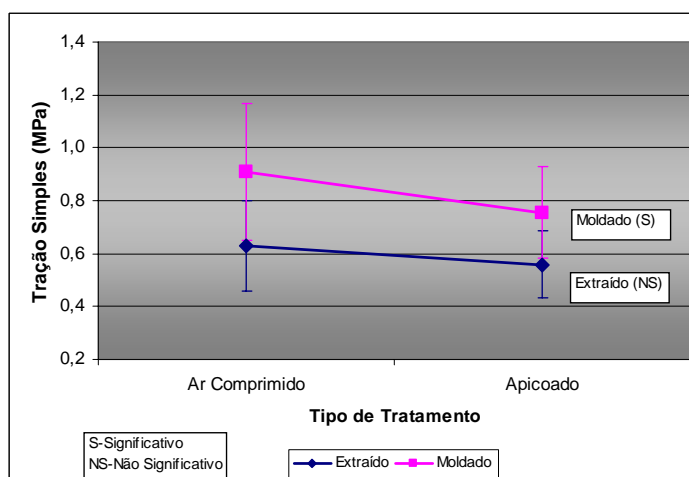


Figura 5.19 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h

5.3.2.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas sem utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento, que nesta fase apresenta os níveis de 0h, 4h, 8h e 12 h, estão resumidos na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,11826	3	0,03942	1,8267	2,715	não-signif.
Temperatura (°C)	0,19689	1	0,19689	9,1248	3,956	significativo
Tipo de Tratamento	0,00021	1	0,00021	0,0099	3,956	não-signif.
Erro (resíduo)	1,79095	83	0,02158	--	--	--
Total	2,10631	88	--	--	--	--
Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,18540	3	0,06180	1,7966	3,587	não-signif.
Temperatura (°C)	0,00603	1	0,00603	0,1752	4,844	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,24203	1	0,24203	7,0360	4,844	significativo
Erro (resíduo)	0,37840	11	0,03440	--	--	--
Total	0,81186	16	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.20 a 5.22 são apresentados os valores médios de resistência à tração direta, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento. Salienta-se que apenas os efeitos das variáveis Temperatura de Exposição para corpos-de-prova extraídos e Tipo de Tratamento para corpos-de-prova moldados foram significativos.

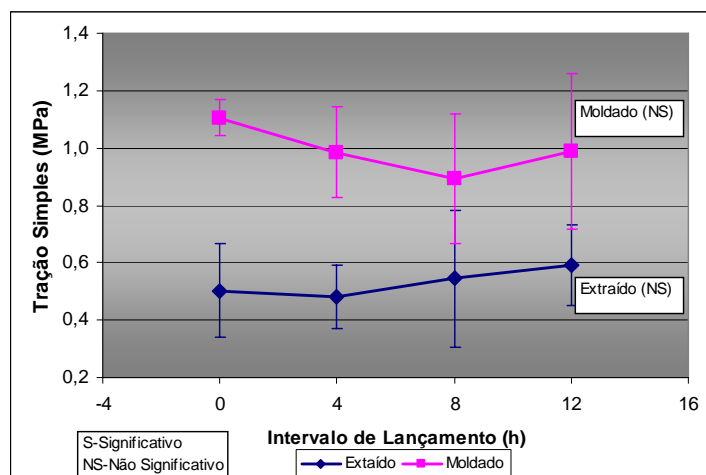


Figura 5.20 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

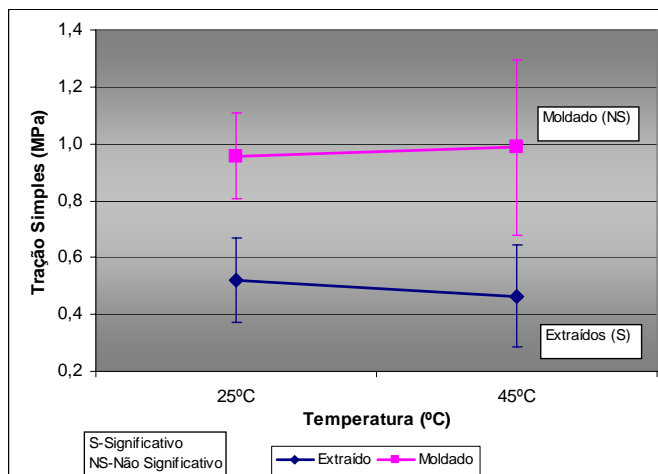


Figura 5.21 : Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

Novamente a variável Tipo de Tratamento teve um efeito significativo para corpos-de-prova moldados e semelhante ao observado para o intervalo de 8 h e 12 h, ou seja, juntas tratadas com ar comprimido tiveram um desempenho superior àquelas tratadas com apicoamento (Figura 5.22).

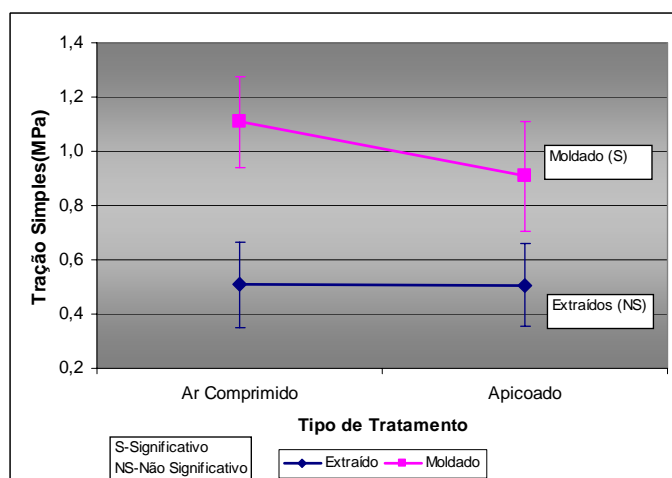


Figura 5.22 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

5.3.2.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas com utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento, que nesta fase apresenta os níveis de 8h, 12h, 24h e 48 h, estão resumidos na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência à tração simples em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,04078	3	0,01359	1,039	2,701	não-signif.
Temperatura (°C)	0,01815	1	0,01815	1,388	3,942	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,12605	1	0,12605	9,634	3,942	significativo
Erro (resíduo)	1,22990	94	0,01308	--	--	--
Total	1,41488	99	--	--	--	--
Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	0,07189	3	0,02396	0,7218	3,019	não-signif.
Temperatura (°C)	0,03617	1	0,03617	1,0894	4,260	não-signif.
Tipo de Tratamento	0,03072	1	0,03072	0,9253	4,260	não-signif.
Erro (resíduo)	0,79680	24	0,03320	--	--	--
Total	0,93558	29	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.23 a 5.25 são apresentados os valores médios de resistência à tração direta, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento. O único efeito comprovadamente significativo foi o da variável Tipo de Tratamento para corpos-de-prova extraídos.

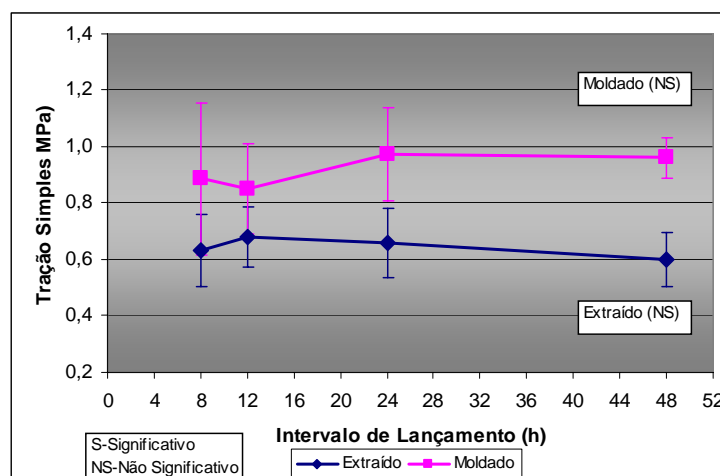


Figura 5.23 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Intervalo de Lançamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

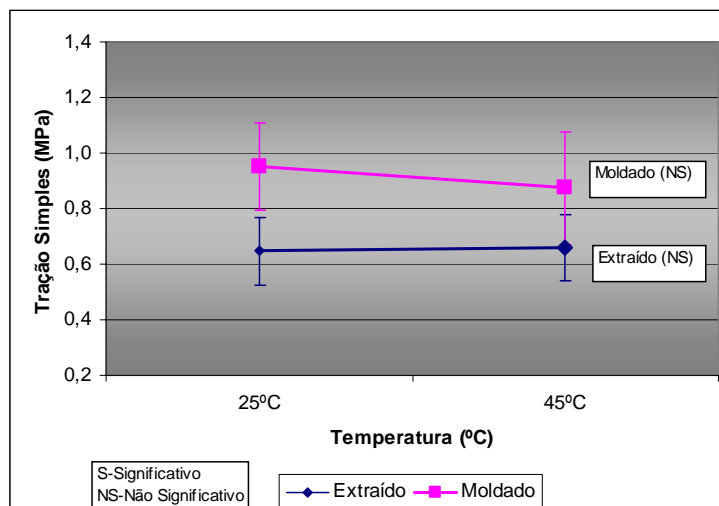


Figura 5.24 : Valores médios de resistência à tração direta em função da Temperatura de Exposição em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

Como observado nos dois itens anteriores, nota-se que juntas tratadas com ar comprimido têm resistência à tração simples superior àquelas tratadas utilizando apicoamento (Figuras 5.19 e 5.22), no entanto, diferentemente ao constatado anteriormente, este efeito mostrou-se significativo em corpos-de-prova extraídos (Figura 5.25).

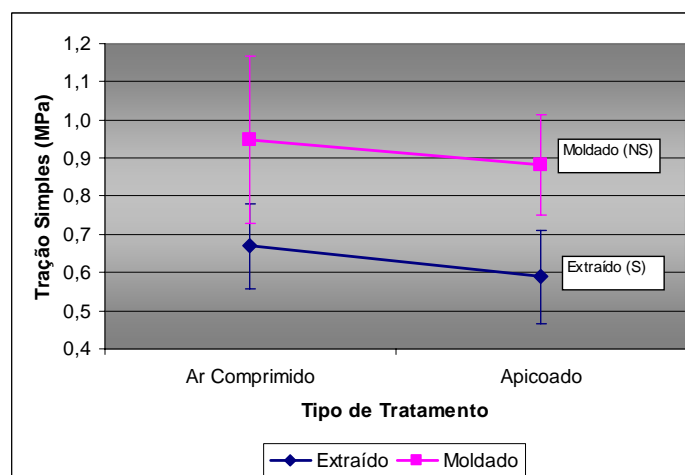


Figura 5.25 : Valores médios de resistência à tração direta em função do Tipo de Tratamento em juntas com intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

5.3.2.4. Considerações Gerais

Similar ao realizado para a resistência à tração por compressão diametral, fez-se uma análise da resistência à tração simples em função do Intervalo de Lançamento, abrangendo

intervalos de 0 h a 48 h (Figura 5.26). Esta figura possibilita uma visão ampla da influência do Intervalo de Lançamento, da Utilização de Argamassa de ligação e do Tipo de Corpo-de-prova.

De posse das análises estatísticas, constatou-se que a resistência à tração simples não sofre influência do intervalo de lançamento, independente do intervalo avaliado. Foi constatado o efeito positivo no acréscimo da resistência ao cisalhamento direto quando da utilização de argamassa de ligação, porém de forma menos incisiva que na resistência à tração diametral, pois este efeito ocorreu apenas em corpos-de-prova extraídos (Tabela 5.12).

O efeito mais intenso foi do tipo do corpo-de-prova, onde foi constatado que corpos-de-prova moldados apresentaram resultados de resistências à tração simples superiores aos de testemunhos extraídos.

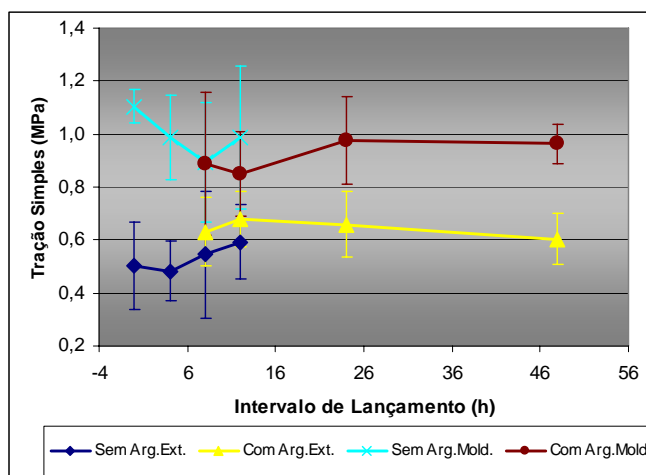


Figura 5.26 : Valores médios de resistência à tração simples em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h.

5.3.3. Resistência ao Cisalhamento Direto

Na ANOVA realizada para a variável Tipo de Corpo-de-prova foram evidenciadas diferenças significativas entre corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos, conforme apresentado na Figura 5.27. Posteriormente, foi realizada uma comparação das médias, a partir da qual conclui-se que os corpos-de-prova extraídos tiveram um decréscimo médio de resistência ao cisalhamento direto de 17,3% em relação aos corpos-de-prova moldados. Os resultados individuais são mostrados no Anexo J (CD-ROM).

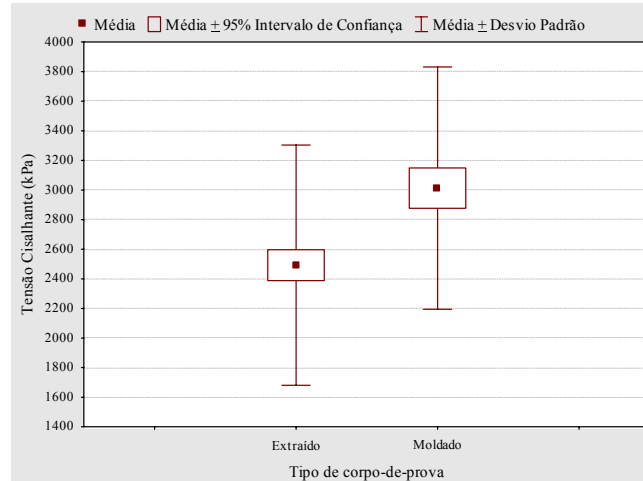


Figura 5.27 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de corpo-de-prova com seus respectivos desvios padrões e intervalos de confiança da média de 95%.

Analogamente ao realizado para a resistência ao cisalhamento direto na camada de concreto, os resultados dos ensaios nas juntas foram analisados separadamente para cada tensão normal, ou seja, 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa.

5.3.3.1. Juntas Com e Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h e 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as variáveis principais, com Intervalos de Lançamento de 8 h e 12 h, estão resumidos na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas com intervalos de lançamento de 8 h e 12 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
Tensão Normal de 900 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	151450	1	151450	3,263	4,351	não-signif.
Temperatura (°C)	925338	1	925338	19,939	4,351	significativo
Utilização de Argamassa	2775213	1	2775213	59,799	4,351	significativo
Tipo de Tratamento	230385	1	230385	4,964	4,351	significativo
Erro (resíduo)	928188	20	46409	--	--	--
Total	5010574	24	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	97286	1	97286	0,5312	4,325	não-signif.
Temperatura (°C)	229489	1	229489	1,2532	4,325	não-signif.
Utilização de Argamassa	1744098	1	1744098	9,5239	4,325	significativo
Tipo de Tratamento	4355	1	4355	0,0238	4,325	não-signif.
Erro (resíduo)	3845705	21	183129	--	--	--
Total	5920933	25	--	--	--	--

Tensão Normal de 2700 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	41	1	41	0,000	4,351	não-signif.
Temperatura (°C)	1463373	1	1463373	13,115	4,351	significativo
Utilização de Argamassa	1805095	1	1805095	16,178	4,351	significativo
Tipo de Tratamento	403938	1	403938	3,620	4,351	não-signif.
Erro (resíduo)	2231598	20	111580	--	--	--
Total	5904045	24	--	--	--	--
Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
Tensão Normal de 900 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	46525	1	46525	0,4760	4,543	não-signif.
Temperatura (°C)	127982	1	127982	1,3093	4,543	não-signif.
Utilização de Argamassa	992897	1	992897	10,1574	4,543	significativo
Tipo de Tratamento	131277	1	131277	1,3430	4,543	não-signif.
Erro (resíduo)	1466269	15	97751	--	--	--
Total	2764950	19	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	270045	1	270045	2,887	4,543	não-signif.
Temperatura (°C)	23661	1	23661	0,253	4,543	não-signif.
Utilização de Argamassa	1211131	1	1211131	12,948	4,543	significativo
Tipo de Tratamento	51735	1	51735	0,553	4,543	não-signif.
Erro (resíduo)	1403067	15	93538	--	--	--
Total	2959639	19	--	--	--	--
Tensão Normal de 2700 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	12040	1	12040	0,174	4,543	não-signif.
Temperatura (°C)	47838	1	47838	0,692	4,543	não-signif.
Utilização de Argamassa	1577605	1	1577605	22,821	4,543	significativo
Tipo de Tratamento	612356	1	612356	8,858	4,543	significativo
Erro (resíduo)	1036945	15	69130	--	--	--
Total	3286784	19	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.28 a 5.31 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento direto, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição, Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento. Nos gráficos as curvas são traçadas para os diferentes tipos de corpo-de-prova e tensões normais, assinalando-se se o efeito é ou não significativo.

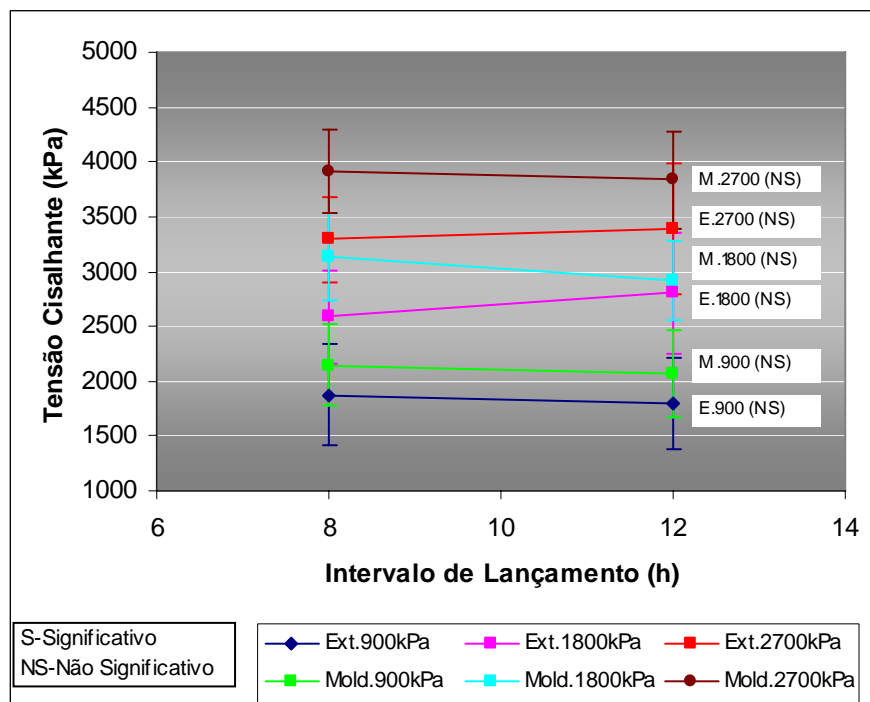


Figura 5.28 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 8h e 12h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa.

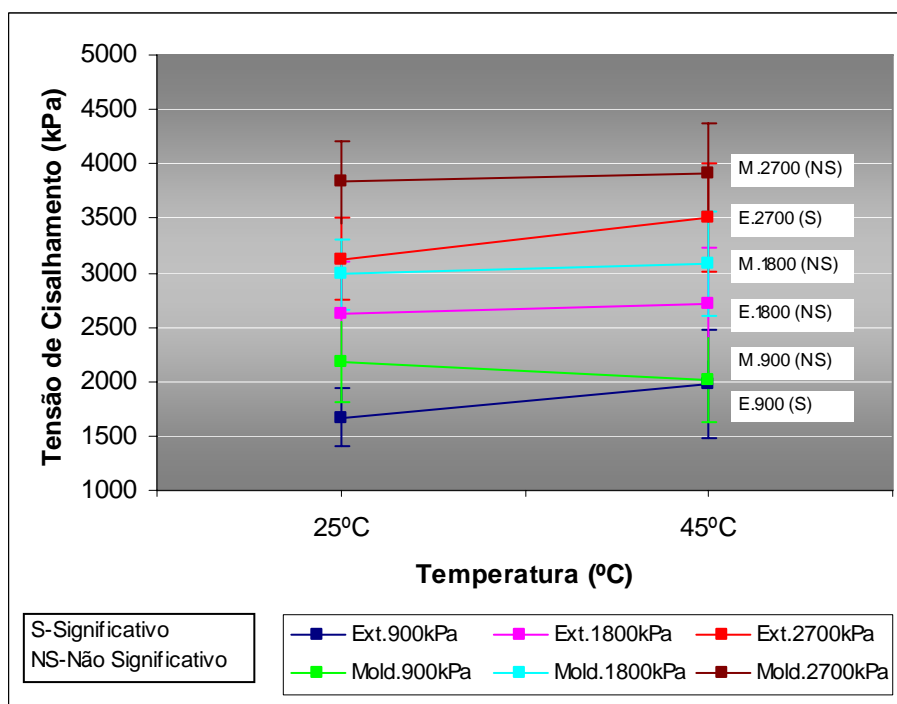


Figura 5.29 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.

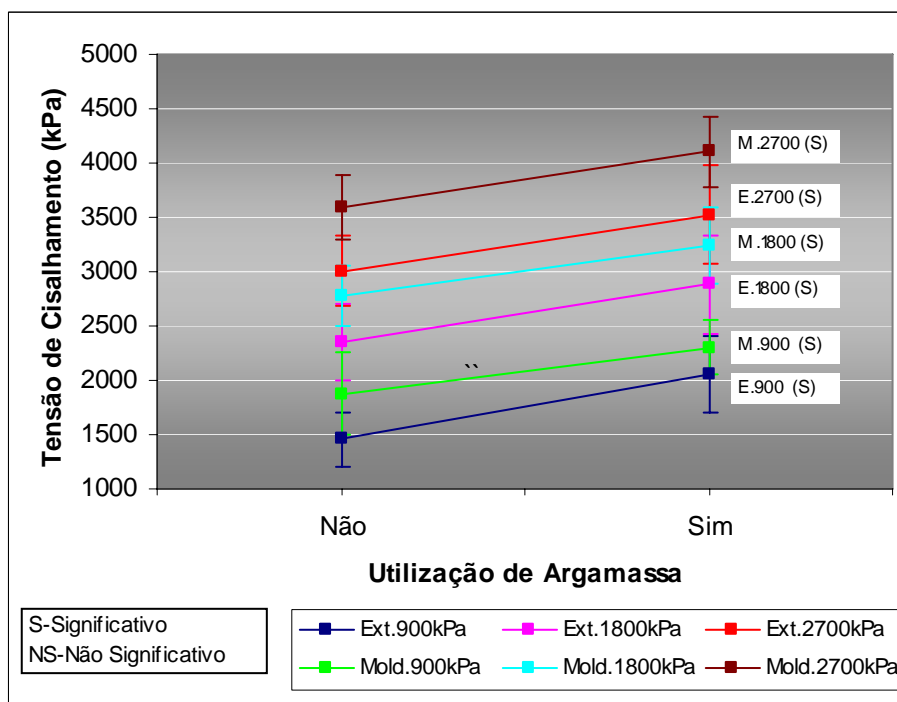


Figura 5.30 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Utilização de Argamassa para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.

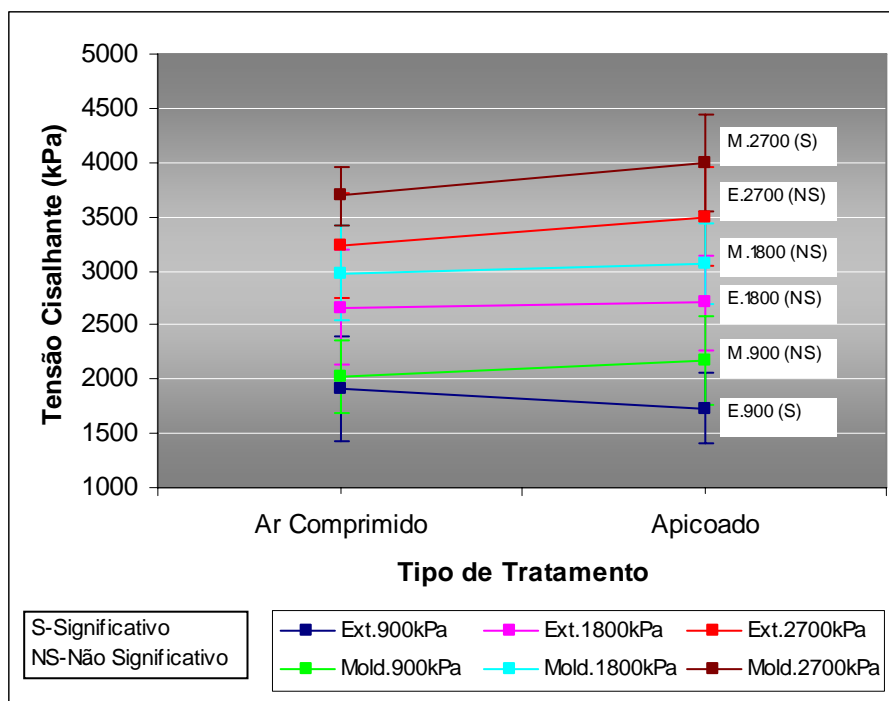


Figura 5.31 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Intervalo de Lançamento de 8h e 12h.

A partir da análise das Figuras 5.28 a 5.31, conclui-se que as variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de exposição da camada e Tipo de Tratamento não apresentam influência significativa na resistência ao cisalhamento direto, porém, vale salientar que para os corpos-de-prova extraídos predomina o efeito significativo da variável Temperatura. Por outro lado, a variável Utilização de Argamassa mostrou-se significativa em todas as análises realizadas, sendo que juntas com utilização de argamassa apresentaram um acréscimo médio de resistência da ordem de 20% em relação às juntas sem utilização de argamassa.

5.3.3.2. Juntas Sem Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 0h a 12h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas sem utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento que nesta fase apresenta os níveis de 0h, 4h, 8h e 12 h, estão resumidos na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas sem utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 0 h a 12 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Tensão Normal de 900 kPa						
Intervalo de Lançamento (h)	830896	3	276965	2,9973	2,874	significativo
Temperatura (°C)	5808	1	5808	0,0629	4,121	não-signif.
Tipo de Tratamento	98585	1	98585	1,0669	4,121	não-signif.
Erro (resíduo)	3234123	35	92404	--	--	--
Total	4169412	40	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa						
Intervalo de Lançamento (h)	2791201	3	930400	5,0972	2,859	significativo
Temperatura (°C)	200661	1	200661	1,0993	4,105	não-signif.
Tipo de Tratamento	5508	1	5508	0,0302	4,105	não-signif.
Erro (resíduo)	6753608	37	182530	--	--	--
Total	9750978	42	--	--	--	--
Tensão Normal de 2700 kPa						
Intervalo de Lançamento (h)	1610342	3	536781	3,898	2,859	significativo
Temperatura (°C)	317029	1	317029	2,302	4,105	não-signif.
Tipo de Tratamento	208812	1	208812	1,516	4,105	não-signif.
Erro (resíduo)	5095174	37	137707	--	--	--
Total	7231357	42	--	--	--	--

Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
Tensão Normal de 900 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	322102	2	161051	1,3075	3,634	não-signif.
Temperatura (°C)	159	1	159	0,0013	4,494	não-signif.
Tipo de Tratamento	26410	1	26410	0,2144	4,494	não-signif.
Erro (resíduo)	1970734	16	123171	--	--	--
Total	2319405	20	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	490935	2	245468	5,706	3,634	significativo
Temperatura (°C)	73933	1	73933	1,719	4,494	não-signif.
Tipo de Tratamento	33959	1	33959	0,789	4,494	não-signif.
Erro (resíduo)	688252	16	43016	--	--	--
Total	1287079	20	--	--	--	--
Tensão Normal de 2700 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	26910	2	13455	0,197	3,634	não-signif.
Temperatura (°C)	31867	1	31867	0,467	4,494	não-signif.
Tipo de Tratamento	258695	1	258695	3,788	4,494	não-signif.
Erro (resíduo)	1092744	16	68297	--	--	--
Total	1410216	20	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.32 a 5.34 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento direto, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento.

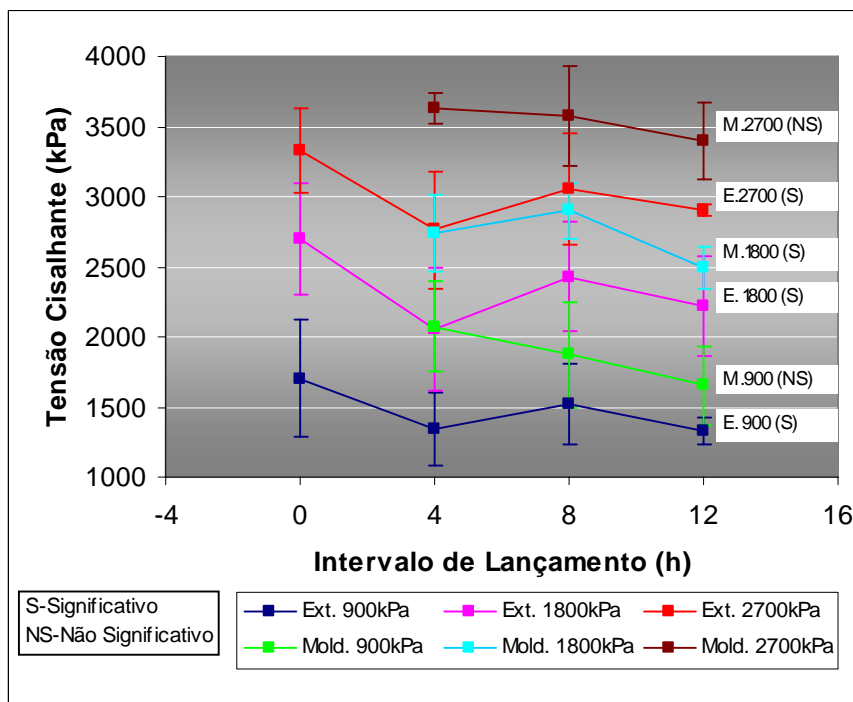


Figura 5.32 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 0h a 12h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.

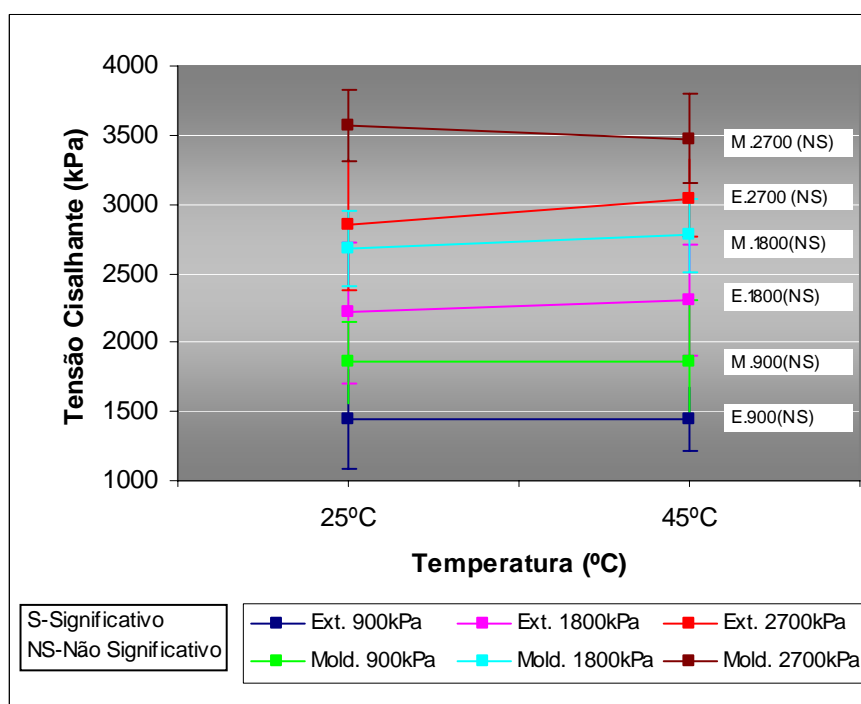


Figura 5.33 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.

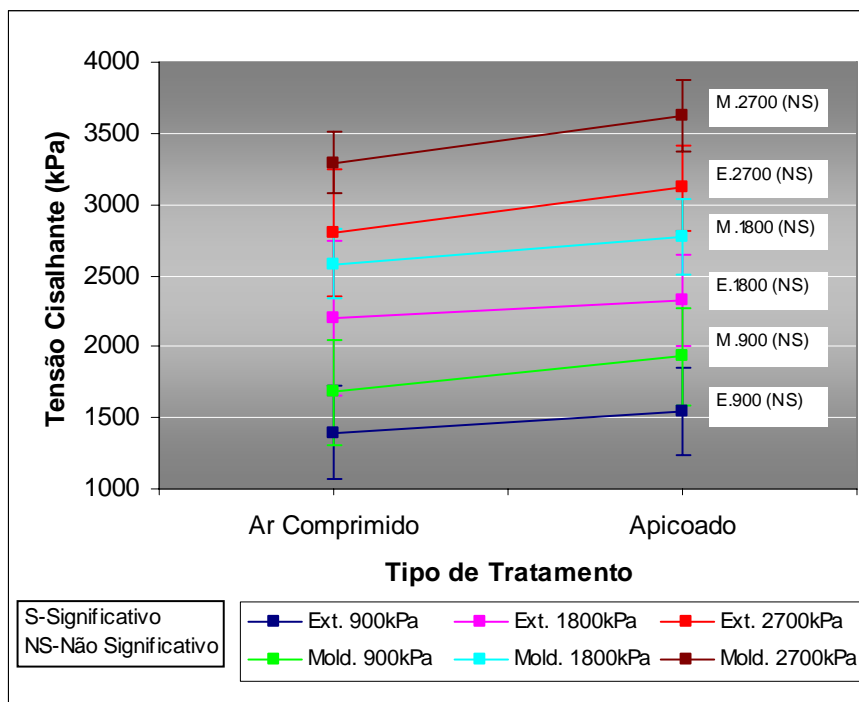


Figura 5.34 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas sem argamassa.

Com base na análise das Figuras 5.32 a 5.34, constata-se que as variáveis Temperatura de exposição da camada e Tipo de Tratamento não apresentam influência significativa na resistência ao cisalhamento direto. Em contrapartida, o variável Intervalo de Lançamento apresentou, na maioria dos casos, efeito significativo. No entanto, ressalta-se que para os corpos-de-prova moldados predomina o efeito não significativo (Figura 5.32).

Adicionalmente, realizou-se uma análise da influência do intervalo de lançamento apenas para aqueles intervalos comuns a ambos os tipos de corpo-de-prova, ou seja, 4h, 8h e 12h. Nesta análise constatou-se a predominância do comportamento não-significativo. Portanto, restringindo-se a análise aos intervalos de 4h a 12h, a resistência ao cisalhamento não é alterada de forma relevante quando não se utiliza argamassa de ligação.

A análise de agrupamento de médias pelo método de Duncan resultou na formação de dois grupos de comportamento complexo, ou seja, com os níveis intermediários (4h e 8h) presentes em ambos os grupos. No entanto deve-se destacar que há uma tendência de redução da resistência ao cisalhamento direto com aumento do intervalo de lançamento, o que pôde ser constatado pelo fato dos intervalos de 0h e 12 h sempre formarem grupos distintos.

5.3.3.3. Juntas Com Utilização de Argamassa (Intervalo de Lançamento de 8h a 48h)

Os resultados principais da ANOVA para as juntas com utilização de argamassa, contemplando as variáveis Temperatura de Exposição, Tipo de Tratamento e Intervalo de Lançamento, que nesta fase apresenta os níveis de 8h, 12h, 24h e 48 h, estão resumidos na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 : Resultado da análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de resistência ao cisalhamento direto em juntas com utilização de argamassa para os intervalos de lançamento de 8 h a 48 h.

Tipo de corpo-de-prova	Testemunho Extraído					
Tensão Normal de 900 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	387211	3	129070	0,6245	2,922	não-signif.
Temperatura (°C)	243994	1	243994	1,1806	4,171	não-signif.
Tipo de Tratamento	110471	1	110471	0,5345	4,171	não-signif.
Erro (resíduo)	6200268	30	206676	--	--	--
Total	6941944	35	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	404457	3	134819	0,951	2,922	não-signif.
Temperatura (°C)	37450	1	37450	0,264	4,171	não-signif.
Tipo de Tratamento	68081	1	68081	0,480	4,171	não-signif.
Erro (resíduo)	4252883	30	141763	--	--	--
Total	4762871	35	--	--	--	--
Tensão Normal de 2700 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	338571	3	112857	0,605	2,922	não-signif.
Temperatura (°C)	560574	1	560574	3,006	4,171	não-signif.
Tipo de Tratamento	30	1	30	0,000	4,171	não-signif.
Erro (resíduo)	5595404	30	186513	--	--	--
Total	6494579	35	--	--	--	--
Tipo de corpo-de-prova	Corpo-de-prova Moldado					
Tensão Normal de 900 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	229617	3	76539	1,243	3,098	não-signif.
Temperatura (°C)	33404	1	33404	0,542	4,351	não-signif.
Tipo de Tratamento	603537	1	603537	9,800	4,351	significativo
Erro (resíduo)	1231650	20	61583	--	--	--
Total	2098208	25	--	--	--	--
Tensão Normal de 1800 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	353229	3	117743	1,108	3,098	não-signif.
Temperatura (°C)	238181	1	238181	2,242	4,351	não-signif.
Tipo de Tratamento	279944	1	279944	2,635	4,351	não-signif.
Erro (resíduo)	2124560	20	106228	--	--	--
Total	2995914	25	--	--	--	--

Tensão Normal de 2700 kPa	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Intervalo de Lançamento (h)	116967	3	38989	0,492	3,098	não-signif.
Temperatura (°C)	108084	1	108084	1,364	4,351	não-signif.
Tipo de Tratamento	1011754	1	1011754	12,769	4,351	significativo
Erro (resíduo)	1584704	20	79235	--	--	--
Total	2821509	25	--	--	--	--

Onde:

SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade; MQ = Média dos quadrados;

F_{cal} = Parâmetro de Fisher calculado para cada efeito da ANOVA;

F_{tab} = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

Resultado = Resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não;

Nas Figuras 5.35 a 5.37 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento direto, com seus respectivos desvios padrões em função das variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição e Tipo de Tratamento.

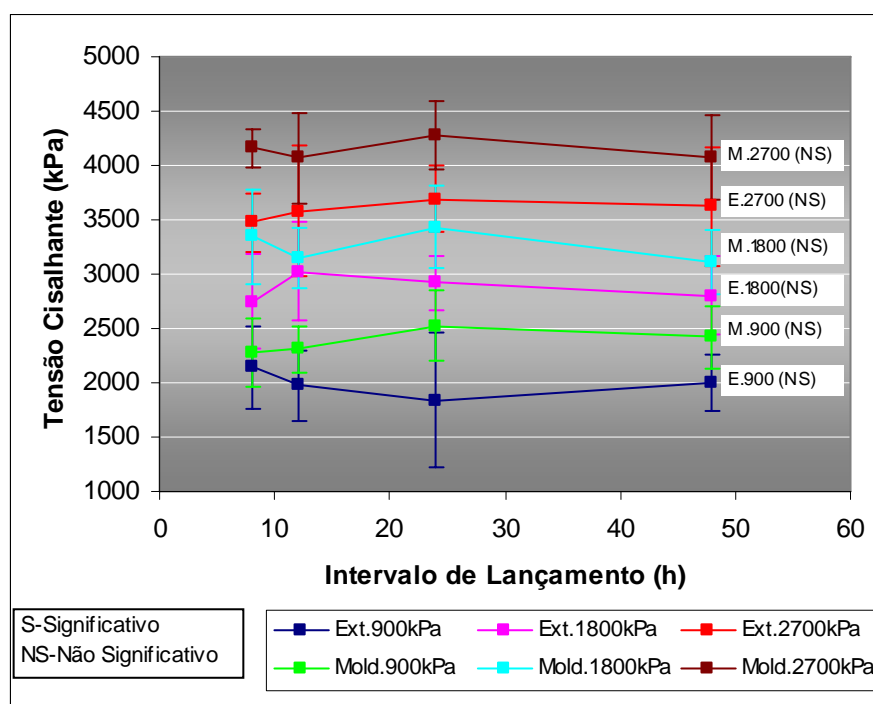


Figura 5.35 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento de 8h a 48h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.

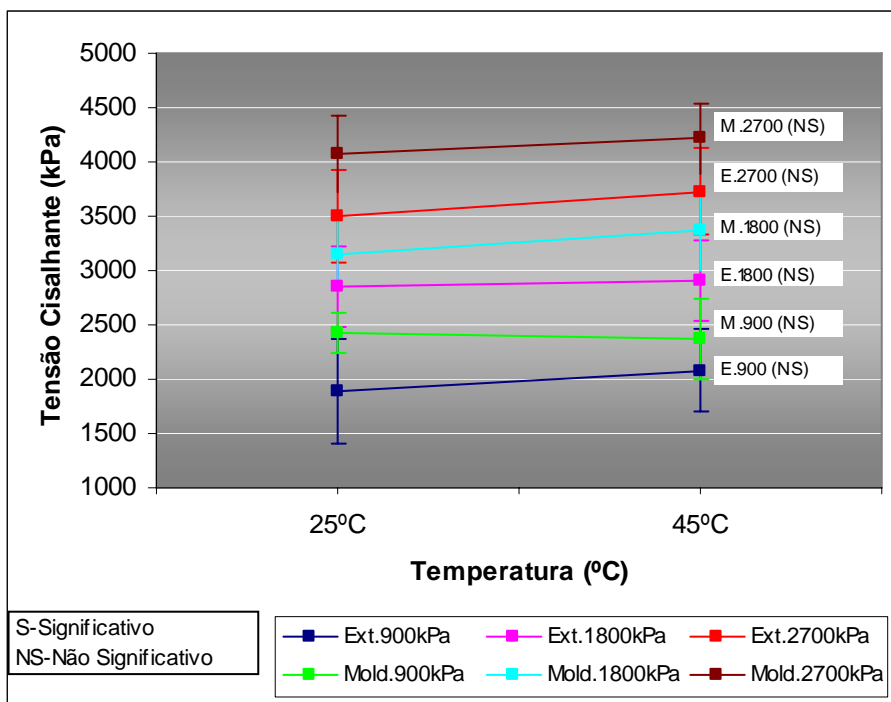


Figura 5.36 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função da Temperatura de Exposição das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.

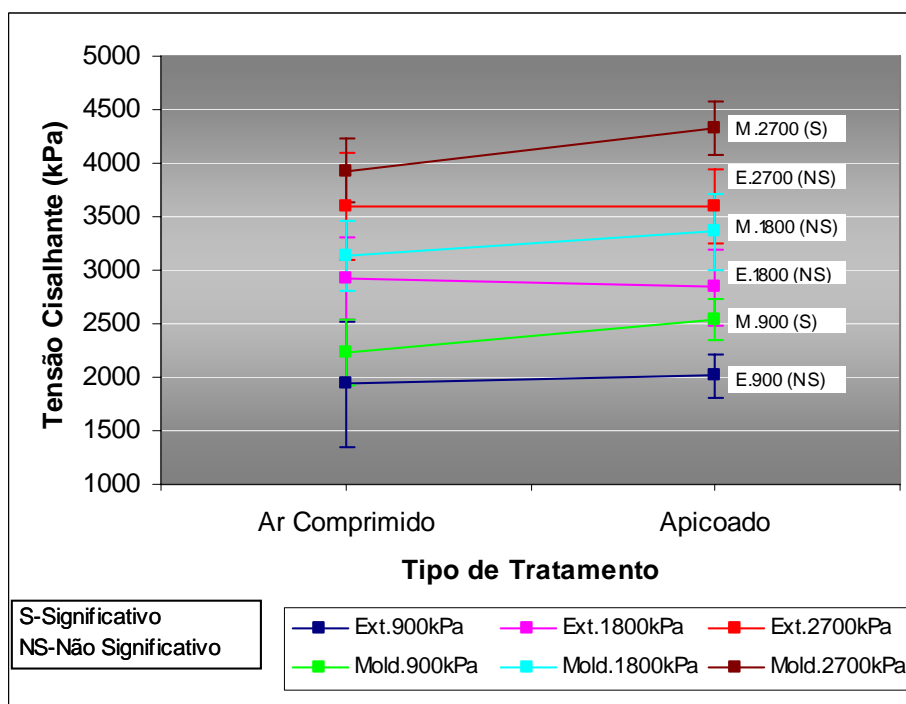


Figura 5.37 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Tipo de Tratamento das juntas para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa. Juntas com argamassa.

Observa-se, a partir da análise das Figuras 5.35 a 5.37, que há um comportamento predominantemente não significativo para todas as variáveis. Porém, para corpos-de-prova moldados a variável Tipo de Tratamento apicoado mostra-se significativamente superior ao com ar comprimido, conforme apresentado na Figura 5.37. Fica evidenciado que, uma vez que opta-se em utilizar argamassa de ligação, nenhuma das variáveis estudadas (Intervalo de Lançamento, Temperatura e Tipo de Tratamento), nos níveis avaliados, é capaz de causar variações significativas, quer sejam reduções ou acréscimos, na resistência ao cisalhamento direto.

5.3.3.4. Considerações Gerais

Analogamente ao realizado para as propriedades anteriores (resistência à tração por compressão diametral e tração simples), fez-se uma análise da resistência ao cisalhamento direto em função da variável Intervalo de Lançamento, abrangendo intervalos de 0 h a 48 h para as cargas normais de 900 kPa, 1800 kPa e 2700 kPa (Figuras 5.38 a 5.40). Estas figuras proporcionam uma visão ampla da influência do Intervalo de Lançamento, da Utilização de Argamassa de ligação e do Tipo de Corpo-de-prova na resistência ao cisalhamento direto.

Observa-se, comprovado pela análise estatística, uma tendência de redução significativa da resistência ao cisalhamento direto com o aumento do intervalo de lançamento para juntas sem argamassa (0h a 12h), independente do nível de carga e do tipo de corpo-de-prova. Por outro lado, para juntas com utilização de argamassa (8h a 48h), os valores de resistência ao cisalhamento não apresentam variação significativa ao longo do tempo, permanecendo praticamente inalterados para cada patamar de carga normal, independente do tipo de corpo-de-prova.

Destaca-se, novamente, o efeito positivo no acréscimo da resistência ao cisalhamento direto quando da utilização de argamassa de ligação. Este efeito é facilmente evidenciado nas Figuras 5.387 a 5.40 e confirma a análise estatística realizada anteriormente (Tabela 5.15). Percebe-se ainda, claramente, que corpos-de-prova moldados apresentaram resultados de resistências ao cisalhamento direto superiores aos de testemunhos extraídos.

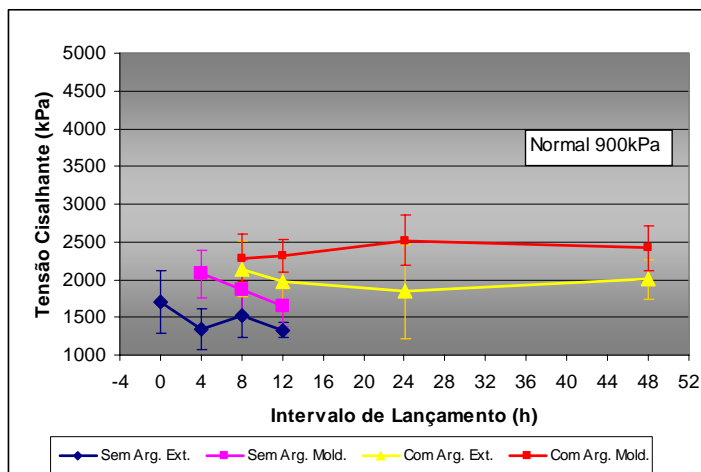


Figura 5.38 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 900 kPa).

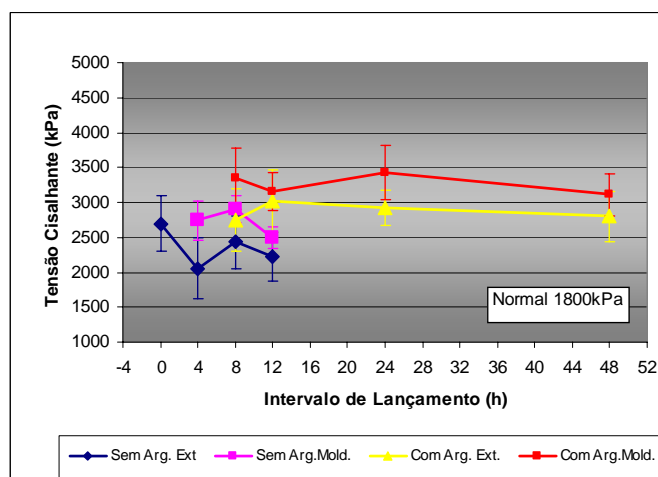


Figura 5.39 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 1800 kPa).

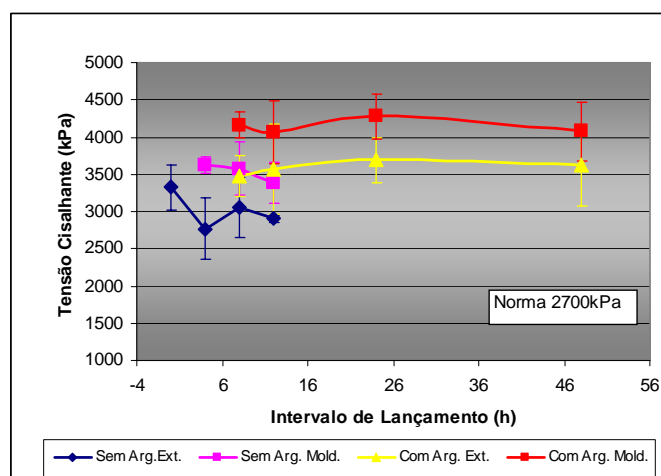


Figura 5.40 : Valores médios de resistência ao cisalhamento direto em função do Intervalo de Lançamento. Abrangendo intervalos de 0 h a 48 h (Normal 2700 kPa).

5.3.4. Permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade com concreto endurecido, realizados nos corpos-de-prova extraídos verticalmente para a caracterização do CCR na camada, e nos extraídos horizontalmente para a caracterização da junta entre camadas, seguiram a metodologia prescrita na NBR 10786/89 e desenvolvida pelo US *Bureau of Reclamation* (Determinação do Coeficiente de Permeabilidade à Água - Método de Ensaio). Para o caso do CCR estudado, os ensaios foram realizados com idade de 120 dias, devido à dificuldade de obtenção dos testemunhos com idade inferiores. Porém, a idade do corpo de prova a ser ensaiado pode variar, bastando corrigir a permeabilidade através de um fator de correção em função da idade em que se encontra o concreto (FURNAS, 1997).

Durante o ensaio o fluxo de água é aplicado no concreto endurecido de forma gradativa até alcançar uma pressão constante específica, pressão esta mantida por aproximadamente 21 dias. Segundo o procedimento de ensaio FURNAS 01.011.001 (FURNAS, 2003) é utilizada uma pressão de 2,1 MPa para o concreto convencional (CCV) e para o CCR, 0,7 MPa.

Na Tabela 5.18 são apresentados os resultados médios dos coeficientes de permeabilidade com seus respectivos desvios, contemplando as variáveis Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição, Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento para os corpos-de-prova extraídos nas juntas entre camadas, bem como os resultados dos coeficientes de permeabilidade do CCR extraído na camada.

Na Tabela 5.18 é apresentado, também, uma predição da penetração de água para uma barragem de CCR com um horizonte de projeto de 50 anos, onde foram considerados os coeficientes de permeabilidade obtidos experimentalmente e uma estrutura de CCR sem aplicação de concreto de face. Nesta predição não foram consideradas a presença de fissuras, falhas executivas, grandes heterogeneidades, descontinuidades e etc, ou seja, considerou-se uma estrutura totalmente monolítica. Os resultados individuais dos ensaios realizados em corpos-de-prova extraídos na camada estão apresentados no Anexo G (CD-ROM) e os extraídos na junta estão mostrados no Anexo K (CD-ROM).

Tabela 5.18 : Permeabilidade do CCR endurecido.

Intervalo (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Argam.	Tipo de Tratamento	Média (10^{-10} m/s)	Desvio Padrão (10^{-10} m/s)	C.V. (%)	Nº de Ensaio	Penetração (cm)
Concreto extraído na camada				1,556	1,484	95%	25	25
0h	25°C	não	Ar comprimido	3,673	1,434	39%	7	45
0h	25°C	não	Apicoado	3,791	1,960	52%	4	101

Intervalo (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Argam.	Tipo de Tratamento	Média (10^{-10} m/s)	Desvio Padrão (10^{-10} m/s)	C.V. (%)	Nºde Ensaios	Penetração (cm)
4h	25°C	não	Ar comprimido	4,720	1,723	37%	2	55
4h	45°C	não	Ar comprimido	1,597	0,327	20%	3	22
4h	25°C	não	Apicoado	4,057	0,000	0%	1	64
4h	45°C	não	Apicoado	1,334	0,492	37%	4	32
8h	45°C	não	Ar comprimido	1,125	0,287	26%	2	15
8h	25°C	não	Apicoado	4,418	0,258	6%	2	67
8h	45°C	não	Apicoado	1,270	0,777	61%	2	11
12h	25°C	não	Ar comprimido	0,508	0,070	14%	2	7
12h	45°C	não	Ar comprimido	2,092	0,824	39%	3	26
12h	25°C	não	Apicoado	3,569	1,502	42%	2	73
8h	25°C	sim	Ar comprimido	2,916	1,244	43%	3	27
8h	45°C	sim	Ar comprimido	2,475	1,233	50%	4	56
8h	25°C	sim	Apicoado	4,082	1,281	31%	2	50
8h	45°C	sim	Apicoado	1,941	0,619	32%	2	24
12h	25°C	sim	Ar comprimido	1,087	0,386	36%	3	19
12h	45°C	sim	Ar comprimido	1,479	0,305	21%	2	27
12h	25°C	sim	Apicoado	3,291	0,789	24%	2	43
12h	45°C	sim	Apicoado	2,742	0,415	15%	2	39
24h	25°C	sim	Ar comprimido	1,191	0,839	70%	3	13
24h	45°C	sim	Ar comprimido	1,542	1,380	89%	2	9
24h	25°C	sim	Apicoado	1,521	1,154	76%	4	6
24h	45°C	sim	Apicoado	0,657	0,152	23%	2	12
48h	25°C	sim	Ar comprimido	3,454	0,212	6%	2	52
48h	45°C	sim	Ar comprimido	0,760	0,007	1%	2	12
48h	25°C	sim	Apicoado	3,208	0,139	4%	2	49
48h	45°C	sim	Apicoado	0,953	0,145	15%	2	13

Nota-se na Tabela 5.18 resultados com coeficientes de variação elevados, entretanto, de acordo com Neville (1997), são grandes as dispersões dos resultados nos ensaios de permeabilidade realizados em concretos de características similares. Portanto, pode-se dizer que concretos que possuem permeabilidade de mesma ordem de grandeza (mesma unidade de potência) são considerados de mesmo desempenho quanto à penetração de água sob pressão. Fazendo-se uma análise dos resultados apresentados na tabela supracitada, nota-se que a grande maioria encontra-se na décima casa decimal, ou seja, com o mesmo comportamento. Adicionalmente, a ordem de grandeza dos valores é a mesma observada nos concretos extraídos na camada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivos estudar algumas propriedades básicas para caracterizar o concreto compactado com rolo (CCR) e avaliar a eficiência do tipo de tratamento realizado em juntas entre camadas, utilizando corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos de maciços experimentais confeccionados em laboratório.

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões referentes à pesquisa em questão de forma a complementar as análises e discussões discorridas no capítulo 05, além de fornecer algumas perspectivas para futuras pesquisas que pretendem dar enfoque aos estudos com CCR

As conclusões apresentadas neste capítulo referem-se única e exclusivamente aos resultados obtidos com os materiais utilizados nesta pesquisa e às técnicas de execução de maciços experimentais e obtenção de corpos-de-prova.

Apesar das conclusões deste trabalho estarem alinhadas com a grande maioria da bibliografia existente, deve-se ressaltar a necessidade de se realizar novas pesquisas relacionadas a este assunto que apresentem resultados que possam complementar e confirmar os obtidos neste estudo, com o objetivo de dar-lhe uma maior representatividade.

6.1. CONCLUSÕES

A partir das análises e discussões dos resultados apresentados no capítulo 05, pode-se enumerar várias conclusões, as quais estão listadas nos itens a seguir.

6.1.1. Ensaio de caracterização com concreto endurecido na camada

- Nos ensaios de resistência à compressão, à tração simples, à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade os testemunhos extraídos apresentaram uma queda de desempenho considerável em relação aos corpos-de-prova moldados de 20% a 30%, 35% a 42%, 18% a 30% e 50% a 56%, respectivamente.
- Para a resistência à tração simples nota-se uma alta dispersão dos resultados (C.V. de 6,6% a 71,1%). Tal fato pode ser atribuído à dificuldade de manutenção do dispositivo de

ensaio na posição axial. Já para o módulo de elasticidade a elevada dispersão (C.V. de 10,1% a 49,3%) e o decréscimo nos resultados podem ser atribuídos ao traumatismo provocado no testemunho durante o processo de extração, corte e a preparação em retífica industrial, visando garantir a planicidade e o paralelismo das faces.

- Os resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento direto foram realizados em função das tensões cisalhantes obtidas para cada nível de tensão normal aplicada, pois durante a definição das envoltórias de resistência de Mohr-Coulomb, qualquer variação em um dos níveis das tensões normais pode alterar significativamente os valores de coesão e ângulo de atrito. Com base neste tipo de análise, nota-se um ganho de resistência entre 90 dias e 365 dias de aproximadamente 21% para carga normal de 900 kPa e de 15% para as cargas normais de 1800 kPa e 2700 kPa. Estes incrementos são inferiores aos obtidos para as resistências à compressão, à tração por compressão diametral e à tração simples no mesmo período. De forma similar às outras propriedades mecânicas, a resistência ao cisalhamento direto de testemunhos extraídos, ensaiados aos 180 dias de idade, são inferiores aos obtidos com corpos-de-prova moldados. Este decréscimo é variável em função da carga normal aplicada e encontra-se na faixa de 8% a 25%.

6.1.2. Ensaios com concreto endurecido na junta

- Fazendo-se uma análise estatística das variáveis, tipo de corpo-de-prova (moldado e extraído) e idade de ensaio, conclui-se que o tipo de corpo-de-prova tem influência significativa. Porém, para a variável idade de ensaio, verificou-se que não há diferenças significativas entre as idades analisadas, 120 dias e 180 dias. Em virtude desta análise, todos os dados obtidos para as idades supracitadas foram reunidos em um único grupo de análise.

6.1.2.1. Resistência à Tração por compressão Diametral

- As variáveis Utilização de Argamassa e Tipo de Tratamento da Junta apresentaram influência estatisticamente significativa sobre a resistência à tração por compressão diametral. A variável de maior influência foi a Utilização de Argamassa.

- Ressalta-se que juntas com utilização de argamassa apresentaram um acréscimo médio de resistência da ordem de 30% em relação às juntas sem utilização de argamassa. Enquanto que juntas tratadas utilizando apicoamento tiveram um desempenho superior àquelas sopradas com ar comprimido.
- Apesar da variável Intervalo de Lançamento não ter efeito estatisticamente significativo, para juntas sem argamassa, nota-se uma tendência de queda da resistência à tração por compressão diametral em função do aumento do intervalo.

6.1.2.2. Resistência à Tração Simples

- Para a resistência à tração simples na junta, foi constatado, de forma geral, que os corpos-de-prova extraídos tiveram um decréscimo médio de 35,4% de resistência em relação aos corpos-de-prova moldados.
- Similarmente ao constatado para a resistência à tração por compressão diametral, a utilização de argamassa trouxe benefícios significativos para a resistência à tração simples em testemunhos extraídos, porém, este efeito não foi observado para corpos-de-prova moldados.
- O Tipo de Tratamento teve uma influência significativa para corpos-de-prova moldados e extraídos, porém, o comportamento é contrário ao observado na resistência à tração por compressão diametral, ou seja, juntas sopradas com ar comprimido tiveram um desempenho superior àquelas tratadas utilizando apicoamento.

6.1.2.3. Resistência ao Cisalhamento Direto

- Semelhante ao constatado na resistência à tração simples, os ensaios com corpos-de-prova extraídos tiveram um decréscimo médio de resistência ao cisalhamento direto de 17,3% em relação aos corpos-de-prova moldados.
- A Utilização de Argamassa mostrou-se benéfica em todas as análises realizadas, sendo que, juntas com utilização de argamassa apresentaram um acréscimo médio de resistência da ordem de 20% em relação às juntas sem utilização de argamassa.
- Para juntas tratadas sem utilização de argamassa (0h a 12h), nota-se uma tendência de redução significativa da resistência ao cisalhamento direto com o aumento do intervalo

de lançamento. Por outro lado, para juntas com utilização de argamassa (8h a 48h), os valores de resistência ao cisalhamento não apresentaram variação significativa ao longo do tempo, permanecendo praticamente inalterados para cada patamar de carga normal, independente do tipo de corpo-de-prova.

6.1.2.4. Permeabilidade à água

- No ensaio de permeabilidade, notou-se que o CCR, tanto na camada quanto na junta possui coeficientes de permeabilidade de mesma ordem de grandeza (mesma unidade de potência). Portanto, pode-se considerar que o tratamento dado às juntas foi eficiente, sem haver interferência de nenhuma das variáveis principais (Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição da Junta, Utilização de Argamassa de Ligação e Tipo de Tratamento da Junta).

6.1.3. Conclusões gerais

No tocante às variáveis principais adotadas nesta pesquisa, vale salientar que:

- O Intervalo de Lançamento entre camadas, levando-se em consideração todas as propriedades estudadas, não interfere de forma significativa no desempenho da junta, porém, mostra uma tendência de decréscimo quando da não utilização de argamassa. Isto vem a confirmar que os limites já utilizados no meio técnico para o lançamento de CCR sem utilização de argamassa, de até 04 h, possam ser considerados conservadores e que merecem uma investigação mais detalhada.
- As Temperaturas de Exposição estudadas não apresentaram influência significativa no desempenho das juntas. Recomenda-se que sejam realizadas pesquisas focando a variação da temperatura de exposição da superfície da junta.
- Vale destacar o efeito positivo da utilização de argamassa, pois oferece benefícios e aumento de desempenho da junta, uniformizando os resultados de cada uma das propriedades ensaiadas, independente do intervalo de lançamento, da temperatura de exposição e do tipo de tratamento, ou seja, a partir do momento em que se opta em utilizar argamassa de ligação, nenhuma das variáveis principais tem efeito significativo sobre o comportamento da junta.

- Quanto ao tipo de tratamento, a boa prática de lançamento faz recomendações para que se faça um tratamento com jato de alta pressão nas juntas onde o CCR está com um intervalo de lançamento superior a 04 h ou que o mesmo já esteja endurecido. Nesta pesquisa o jato de alta pressão foi substituído por um escarificador de agulhas pneumático e as juntas que tiveram a superfície apicoada com o equipamento supracitado apresentaram resultados superiores e dispersões inferiores aos obtidos com ar comprimido.

De forma geral, apesar do processo de extração provocar uma queda nos resultados dos testemunhos em relação aos corpos-de-prova moldados, a confecção de um maciço experimental em laboratório torna-se uma ferramenta essencial para prever parâmetros confiáveis a serem aplicados durante a elaboração de um projeto. Entretanto, não exclui totalmente a necessidade de sua construção em campo, e pode minimizar as suas dimensões e o número de camadas a serem lançadas, refletindo economicamente de forma significativa no orçamento da obra.

6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Investigar qual o intervalo máximo de lançamento entre camadas de CCR que possibilite a não utilização de argamassa de ligação.
- Determinar o menor grau de compactação aceitável sem comprometer o desempenho da estrutura.
- Determinar a altura máxima da camada de lançamento de CCR sem comprometer a densidade e, conseqüentemente, o grau de compactação.
- Investigar a influência da temperatura de exposição da superfície da junta em níveis mais baixos.
- Determinar a idade mínima de extração do CCR confeccionado com diversos tipos de cimento.
- Caracterizar as propriedades mecânicas, elásticas, visco elásticas e térmicas do CCR com diferentes tipos de cimento e adições.
- Investigar novos métodos de obtenção de testemunhos sem comprometer em excesso sua integridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 116R-2000: **Cement and concrete terminology by Committee 116**. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5736: **Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. São Paulo: ABNT, 2003.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. NBR 7222: **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. NBR 7251: **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. NBR 7809: **Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR 8522: **Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama - tensão-deformação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. NBR 9202: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura por meio da peneira nº 325**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

_____. NBR 9203: **Cimento Portland comum e clínquer - Análise química por complexometria**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

_____. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 10786: **Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989

_____. NBR 11579: **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira nº 200**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. NBR NM 4: **Concreto compactado com rolo – Determinação da densidade "in situ" com o uso de densímetro nuclear - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. NBR NM 30: **Agregados miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. NBR NM 46: **Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. NBR NM 52: **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NBR NM 53: **Agregados – Determinação da absorção e massa específica do agregado graúdo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NBR NM 65: **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NBR NM 76: **Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C 42/C43M-04: **Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete**. West Conshohocken: ASTM, 2004.

_____. ASTM C 151: **Standard test method for autoclave expansion of Portland cement**. West Conshohocken: ASTM, 2000.

BRITISH STANDARDS – BSI. BS 1881-120: **Testing Concrete. Methods for Determination of the compressive Strength of Concrete Cores**. London, UK: BSI, 1983.

_____. BS 1880-124: **Testing concrete. Methods for Analysis of Hardened Concrete**. London, UK: BSI, 1988.

ABGE. **Boletim Técnico Nº 4**. São Paulo: Associação de Geologia de Engenharia, 1996.

ABREU, J. V. **Estudo do concreto de alta resistência compactado com rolo para pavimentação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, São Paulo, 2002. 116 f

AHMED, A. E. Does Core Size Affect Strength Tests? **Concrete International**. Farmington Hills, Michigan: ACI, v. 21, n. 8, 1999. p. 35-39

ANDRADE, M. A. S.; CARMO, J. B. M.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W.; CARVALHO, L. F.; ESPER, M. W.; CARVALHO, M. D. Concreto compactado com rolo realizado como camada final de pavimento rodoviário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. 16 p. 1 CD-ROM.

ANDRADE, M. A. S.; PIMENTA, M. A.; BITTENCOURT, R. M.; FONSECA, A. C.´; FONTOURA, J. T. F.; PACELLI DE ANDRADE, W. DMA - A Simple Device for Measuring Unit Water in RCC Mixtures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 883-890.

ANDRADE, M. A. S.; TRABOULSI, M.A.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. The full-scale trials for RCC. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE, 4., Madrid, Spain, 2003. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 891-895.

ANDRIOLO, F. R. **Contribuições para o conhecimento e desenvolvimento do concreto rolado**. Rio de Janeiro: Barber Greene, 1989.

ANDRIOLO F.R.; MOSER, D. E.; MUSSI, J. M. P. Water Reducer and Set Retarder Admixture Use in RCC Mix-Properties and Benefits. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE DAM, 1999, China. **Proceedings...** Beijing: IWHR, 1999. p. 156-165.

ANDRIOLO, F. R. **RCC Brazilian Practices**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

ANDRIOLO, F. R. **The use of roller compacted concrete**. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. 554 p.

ANDRIOLO, F. R.; VASCONCELES, G. R. L. de and GAMA, H. R. Use of Roller Compacted Concrete in Brazil. **Concrete International**. Farmington Hills, Michigan: ACI, v. 6, n. 5, 1984.

ANTUNES SOBRINHO, J.; ALBERTONI, S. C.; XAVIER, L. V.; FOES, P. A.; KREMPEL, A. F.; KUSTER, L. A. O Uso do CCR e Aspectos Hidráulicos da Viabilização da UHE Dona Francisca. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3. 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 58-64.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Boletim Informativo da Associação Brasileira de Cimento Portland, CIMENTO HOJE**. São Paulo: Ano 8, n. 53, jun. 2005.

BABÁ, L. J. N.; RAHUAN, L. F.; PIMENTA, M. A.; PINHEIRO, M. L.; BARBIN, A. S.; PACELLI DE ANDRADE, W. O concreto compactado com rolo da UHE Cana Brava. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24., 2001, Fortaleza, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: CBDB, 2001. Tema 3 – Projeto e Construção, p. 295–308. 1 CD-ROM.

BABÁ, L. J. N.; RAHUAN, L. F.; PIMENTA, M.A.; PINHEIRO, M. L.; BARBIN, A. S.; PACELLI DE ANDRADE, W. **Roller Compacted Concrete from Cana brava Hydroelectric Plant**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROLLER COMPACTED CONCRETE DAM CONSTRUCTION IN MIDDLE EAST, 2002, Irbid, Jordânia. **Proceedings...** Irbid: Jordan University of Science and Technology, 2002. p. 502-512.

BARLET, F. M.; MACGREGOR, J. G. Effect of Core-Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength. **ACI Material Journal**. Farmington Hills, Michigan: ACI, v. 91, n. 4, 1994. p.339-348.

BATISTA, E. L. **Estudo da influência do tipo e teor de agregado pulverizado e do consumo de água nas propriedades do concreto compactado com rolo para barragens**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás - Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 2004. 197 f.

BATISTA, E. L.; GRAÇA, N. G.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. **First Brazilian Experience Using the Advanced Sloped Layer Construction of RCC at Lajeado Dam**. Denver, Colorado: USSD, 2002.

BATISTA, E. L.; GRAÇA, N. G.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. Primeira experiência brasileira com execução de concreto compactado com rolo rampado em Lajeado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24., 2001, Fortaleza, Brasil. **Anais...** Fortaleza: CBGB, 2001. 1 CD-ROM

BATISTA, E. L.; GRAÇA, N. G.; PACELLI DE ANDRADE, W.; SANTOS, F. C. R.; MOREIRA, L. C. Execução de Concreto Compactado com Rolo Rampado em Lajeado – Consolidação da Experiência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. 16 p. 1 CD-ROM.

BOTASSI, S.; HASPARYK, N. P.; BATISTA, E. L.; FARIAS, L.; ANDRADE, M. A. S.; GAMBALE, E. A.; PACELLI DE ANDRADE, W. **Permeabilidade do Concreto: Síntese e Comportamento dos Resultados dos Ensaios em Concreto Compactado com Rolo Realizados pelo Laboratório de Concreto de Furnas** - 17 p. (No prelo)

CANNON, R. W. - "Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller". **ACI Journal, Proceedings...** Farmington Hills, Michigan: ACI, v. 71 n. 10, 1974. p. 506-513

CANNON, R. W. Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods. ENGINEERING FOUNDATION RESEARCH CONFERENCE ON ECONOMICAL CONSTRUCTION OF CONCRETE DAMS, 1972, Pacific Grove, California. **Proceedings...**: New York: ASCE, 1972.

CARVALHO, M. D. O concreto rolado como camada final de base e revestimento de pavimentos urbanos. In: SIMPÓSIO DE OBRAS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., São Paulo, 1975. **Anais...** São Paulo: Édile Ed. Ltda., 1995. p. 563-80.

CASTRO, C. H.; NASCIMENTO, J. F. F.; FONTOURA, J. T. F.; PINTO, R. S. Estudo da Eficiência da Argamassa de Ligação Entre Camadas de Concreto Compactado Com Rolo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3. 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 224-231.

CBGB; ELETROBRÁS; IBRACON. **Concreto Massa no Brasil - Memória Técnica**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1989.

CENTENO, A.J. **Curso de Estatística Aplicada à Biologia**. Goiânia: UFG, 1982. (Coleção Didática, 3.)

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Metodologias Construtivas de Barragens**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/F0576C834F05DCD583256D940045140F?OpenDocument&pub=T&proj=Novo&secao=TiraDuvidas>>. Acesso em: 15 jun. 2006.

CREAGER, W. P.; JUSTIN, J. D.; HINDES, J. **Engineering for Dams**. New York: John Wiley & Sons, 1965. 3 v.

DUMONT, N.A; VAZ, L.E; REZENDE FILHO, S.P.; QUIN, T.J. Análise da Fissuração do Parâmetro de Montante do Maciço da Barragem de Nova Olinda – PB – SRH. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 17., 1987, Brasília. **Anais...** Brasília: CBGB, 1987. v. 2, p. 159-171.

DUNSTAN, M. R. H. The state-of-the-art of RCC dam in 2003 – an update of ICOLD bulletin nº 125. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4., 2003. Madrid. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 39- 48.

FARIAS, L. A. **Implementação do método de dosagem científica para o concreto compactado com rolo (CCR) de barragens**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006. 238 f.

FRANCO, F. R.; AITA, C. A.; ARAUJO, T. A.; LIMA, G. A. R.; CESCA, R. J. Barragem de Val de Serra - Aspectos de Construção. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3. 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 126-133.

FRANCO, F. R.; KRUM, S. M.; ARAÚJO, T. A.; PICADA R. F.; ULLOA, A. D. C.; DZIDRICKI, P. T. Barragem Val de Serra - Aspectos de Projeto. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3. 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 107-114.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Concreto Compactado com Rolo (CCR) – Determinação do Tempo de Vibração “Cannon Time” e da Massa Unitária.** FURNAS 01.006.011. Revisão 02. 2005. 5 p.

_____ **Concreto Endurecido – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade à Água.** FURNAS 01.011.001. Revisão 03. 2003.17 p.

_____ **Determinação em Laboratório da Permeabilidade à Água do Concreto Fresco.** FURNAS 01.011.002. Revisão 03. 2006.14 p.

_____ **Cisalhamento Direto - Prensa SBEL.** FURNAS 04.007.006. Revisão 05. 2005.13 p.

FURNAS, Equipe de. **Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades.** São Paulo: PINI / Walton Pacelli de Andrade, 1997.

GALLEGO, A. R.; GONÇALVES JUNIOR, J.; ANDRADE, M. A. S.; GÓZ, R. S.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. Equipamentos para Executar Pista Experimental de Concreto Compactado Com Rolo em Laboratório. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 204-209.

GALLEGO, A. R.; GONÇALVES JUNIOR, J.; ANDRADE, M. A. S.; GÓZ, R. S.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. Equipamento para Produção de Pista Experimental de Concreto Compactado com Rolo em Laboratório. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 41., 1999, Salvador, Brasil. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. 1 CD-ROM

GENTILE, G. Notes on the Construction of the Alpe Gera Dam. In: ENGINEERING FOUNDATION RESEARCH CONFERENCE ON RAPID CONSTRUCTION OF CONCRETE DAMS, 1970, Pacific Grove, California. **Proceedings...** New York: ASCE, 1970.

GENTILE, G. Study, Preparation and Placement of Low Cement Concrete with Special Regards to Its Use in Solid Gravity Dams. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 8., 1964, Edinburgh. **Transactions...**Edinburgh, Escócia: CIGB-ICOLD, 1964.

GRAÇA, N. G.; BATISTA, E. L.; R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. Brazilian Experience of Roller Compacted Concrete (RCC). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE, 4., Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 267 – 272.

GRAÇA, N. G.; LIDUÁRIO, A. S.; FILHO, G. M.; JUNIOR, D.V. Aterro Experimental de CCR do AHE Peixe-Angical. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 26., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBDB, 2005. 1 CD-ROM 15 p.

GRAÇA, N. G.; MENDES, H. S.; BATISTA, E. L.; BITTENCOURT, R. M.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; Estudo do comportamento de juntas entre camadas de CCR sob diferentes condições de exposição. Florianópolis – SC: Instituto Brasileiro do Concreto, 2004. 12p.

HADLEY, H.M. Discussion: Masonry Dams – In: MASONRY DAMS SYMPOSIUM, 1941, New York. **Transactions...** Reston, Virginia: ASCE, 1941.

HANSEN, K. D.; REINHARDT, W. C. **Roller Compacted Concrete Dams**. New York: McGraw-Hill, 1991.

HERMIDA, G.; BOLLATI, M.; RIVAS, J. L. Determination of setting times on RCC by means of ultrasonic energy (experience with six projects) In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain,. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 277 – 281.

HESS, J. R. RCC Lift Joint Strength – Corps of Engineers Practice. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 1999, China. **Proceedings...** Beijing: IWHR, 1999. p. 692-704

HIROSE, T. Research and Practice Concerning RCD Method. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 14., 1982, Rio de Janeiro. **Transactions...** Paris: CIGB/ICOLD, 1982. v. 3,p. 1347-1365.

HOLANDA, F. G. Willow Creek - Primeira Barragem de Gravidade Projetada e Construída em Concreto Rolado. In: COLÓQUIO SOBRE CONCRETO MASSA, 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1983. 32 p.

INTERTECHNE. **Especificações Técnicas – Obras Civis. ET-210-00-001.** Usina Hidrelétrica de Cana Brava. Curitiba, 1998. (Revisão final 27.11.1998).

JCOLD – JAPAN COMMISSION ON LARGE DAMS. **Dams in Japan.** Japan, 1982. Tokyo, Japan: JCOLD, 1982.

JOFRÉ, C. et al. Roller compacted concrete (RCC) pavements for motorways and main highways: the spanish practice. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONCRETE ROADS, 6., 1990, Madrid. **Proceedings...** Brussels, CEMBUREAU, 1990. p. 155-65. (Tema S).

KAMEL, K. F. S.; BABA, L. J. N.; XAVIER, L. V.; AVILA, C. M. Estudos de Seleção da Barragem de CCR para Salto Caxias. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO, 2., 1996, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: COPEL, 1996. p. 42-51.

KREMPEL, A. F; PEREIRA, M. A. C. Barragem de CCR Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 22., 1997, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo: CESP, 1997. p. 141-151.

KUPERMAN, S. C. Barragens Brasileiras de Concreto Compactado com Rolo: Passado, Presente e Futuro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO, 2., 1996, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: COPEL, 1996. p. 240-255.

LACERDA, D.; CABRAL, D.; MATHIAS, H.; LEMOS, M.; RIVELINO, R.. **Fatores que determinaram o CCR – Concreto Compactado com Rolo como material para o projeto estrutural da barragem do AHE Peixe Angical.** Trabalho final de Graduação. Goiânia: Universidade Católica de Goiás Departamento de Engenharia, 2006. 32 p.

LEITE, A. R. C. A. P.; ASTOLPHI, J. C.; GONTIJO, M. C.; KUPERMAN, S. C.; ONUMA, N. T.; VIEIRA, L. P. Proteção do espigão de jusante da UHE Porto Primavera - Projeto e comportamento do CCR. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 33 - 46.

LONDE, P. Safety evaluation using reliability analysis. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DAM SAFETY EVALUATION, 1993, Grindelwald, Switzerland. **Proceedings...** Paris: CIBG/ICOLD, 1993. v. 4.

LOWE, J. Utilization of Soil-Cement as Slope Protection for Earth Dams. In: ASCE Water Resources Engineering Conference, 1., 1962, Omaha, Nebraska. **Proceedings...** Reston, Virginia: ASCE, 1962. Discussion III.

MACHADO, R.; REZENDE, P. F. V. S.; AMARO, P. R.; KUPERMAN, S. C. Relação de Projetos de Barragens Brasileiras de Concreto Compactado Com Rolo. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 47 – 52.

MARQUES FILHO, J. F.; PACELLI DE ANDRADE, W.; STEFFEN, R. D.; MARINO, M. A.; LEVIS, P. Execução de Aterros Experimentais de CCR em Laboratório: Programa de Ensaios. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3, 1998, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 324-328.

MARQUES FILHO, J. **Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 278 f.

MARQUES FILHO, J.; RIBEIRO, C.; NOGUEIRA, J.R.G.; STEFFEN, R. D. Salto Caxias Strength Parameter in Layers Contact for RCC Dams. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DAM SAFETY AND MONITORING, 1999, Yichang, China. **Proceedings...** Beijing: China Press, 1999. v.1, p. 464-468

MARQUES FILHO, J.; PACELLI DE ANDRADE, W.; TRABOULSI, M. A.; PAULON, V. A.; DALMOLIN, D. C. Horizontal Construction Joints Parameters. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 817-822.

MASON, J. **Estruturas de Aproveitamentos Hidrelétricos**. Rio de Janeiro: ed. Campus, 1988.

MCDOWELL, T. E. **Grouting of Willow Creek Dam and Foundation**. USCOLD Newsletter n° 78, Boston, 1985.

MEDEIROS, H. A. M. **Concreto: camada por camada**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/>>. Acesso em: 01 abril 2005.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Brasil: PINI, 1994.

MOFFAT, A. I. B. A Study of Dry Lean Concrete Applied to the Construction of Gravity Dams. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 11., 1973, Madrid. **Transactions...** Paris: CIGB/ICOLD, 1973. v. 3, p. 1279-1299.

MOFFAT, A. I. B. Discussion: New ideas for more rapid and economic construction of concrete dams. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 11., 1973, Madrid. **Transactions...** Paris: CIGB/ICOLD, 1973. v. 5, p. 630-637.

MOSER, D. E.; MUSSI, J. M. P.; ANDRIOLO, F. R. O Uso de Aditivo Plastificante e Retardador de Pega No CCR - Propriedades e Benefícios. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 275-282.

MOSER, D. E.; STEFFEN, R. D.; ANDRIOLO, F. R. Additives in RCC – Research and a Real Case. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 493-498.

MOSER, D. E.; STEFFEN, R. D.; BRITTO, C.; MUSSI, J. M. P. Quality Control RCC of Dona Francisca Dam. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 1013-1020

NASCIMENTO, J. F. F.; FONTOURA, J. T. F.; ALMEIDA, M. T.; PACELLI DE ANDRADE, W. Concreto Compactado a Rolo aplicado no Aproveitamento Hidroelétrico do Médio Kwanza Barragem de Capanda. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., São Paulo, 1995. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 305 – 326.

NASCIMENTO, J. F. F.; FONTOURA, J. T. F.; TRABOULSI, M. A.; PACELLI DE ANDRADE, W. Coeficiente de Permeabilidade do Concreto Compactado com Rolo no Estado Fresco. In: SEMINÁRIO DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 2., 1996, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: COPEL, 1996. p. 152-167.

NETTO, F. F.; BETIOLI, I.; DUARTE, J. D. C.; ROSÁRIO, L. C.; BRAGA, J. A.; SA, S. N.; MISAEL, S. A.; ANDRIOLO, F. R. Aplicação, Ensaios e Pesquisas do Concreto Compactado a Rolo na Itaipu Binacional. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 121-144

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. 2. ed., São Paulo: PINI, 1997.

OLIVARES, J. L.; NAVARRO, J. F.; AUSÍN, V. Development of a Direct Tensile Strength Test Procedure for Roller Compacted Concrete Characterization. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4., 2003, Madrid, Spain. **Proceedings...** Lisse, Holanda: A.A. Balkema Pub., 2003. p. 1021-1028.

OLIVEIRA, P. J. R.; SALLES, F. M. Concreto Compactado a Rolo – Características e Propriedades. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 187 - 208

OLIVEIRA, L. F. P.; SAKS, N. C. O. Experiência da COPEL na Gestão de Empreendimentos Hidrelétricos – Uma Mudança de Mentalidade. In: Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina: CBGB,2006. 1 CD-ROM 14 p.

ONUMA, N. T.; GONTIJO, M. C.; KUPERMAN, S. C.; PRADO VIEIRA, L. J. O Emprego de Concreto Compactado com Rolo para Reabilitação de Obras Hidráulicas. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1.,1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB / IBRACON / IE-SP, 1995. p. 229-237.

PACELLI DE ANDRADE, W.; ANDRIOLO, F. R. Dosagem do CCR: Alta Pasta?; RCD?: Pobre? Ou Adequado Teor de Finos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 283-293.

PACELLI DE ANDRADE, W.; ANDRIOLO, F. R.; SARKARIA, G. S. **Treatment and performace of construction joints in concrete dams.** In: Water Power & Dam, Construction reviewed and implemented from the article with the same and authors, 1993. p. 26-31.

PACELLI DE ANDRADE, W.; BITTENCOURT, R. M.; FONTOURA, J. T.; GUERRA, E. A. **Aplicações do Concreto Compactado com Rolo – Concreto Compactado a Rolo para Barragens,** Área de apoio tecnológico a FURNAS Centrais Elétricas S.A. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1987. 96 p.

PACELLI DE ANDRADE, W. **Notas sobre a 52º Reunião Executiva do CIGB - Comissão Internacional de Grandes Barragens**. Tóquio, Japão, 1984. 45 p.

PACELLI DE ANDRADE, W. **Notas sobre o Concreto Compactado a Rolo**. Goiânia, 1991. 102 p.

PACELLI DE ANDRADE, W. Relato do Tema V – Pesquisas e Perspectivas de Futuro envolvendo CCR. In: SEMINÁRIO DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 2., Curitiba, Brasil, 1996. **Relatos...** Curitiba: COPEL, 1996. p. 102-167.

PACELLI DE ANDRADE, W. **Soil Cement Roads**. **Cement and Concrete Association**, Db. 4. 2. ed., London: [s.n.], 1955.

PASKO, T. J. Jr. Pavements: Past, Present and Future. **Concrete International**, Farmington Hills, v. 20, n. 5, May 1998. p. 47 – 52.

PAULON, V. A.; DALMOLIN, D.; MARQUES FILHO, J.; PACELLI DE ANDRADE, W. Caracterização de concreto compactado com rolo em laboratório. e-Mat – **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v.1, n.1, maio 2004. p. 66-78

PIMENTEL, A. C.; VASCONCELOS, G. R. L.; GAMA, H. R.; SILVEIRA, J. A. Utilização de Concreto Rolado na Usina Hidrelétrica Tucuruí. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 16., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CEMIG, 1985. p. 243-284.

PITTA, M. R.; DÍAZ, P. S. H. Estado-del-Arte de los pavimentos de concreto compactado com rodillo. In: SIMPÓSIO DE OBRAS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB / IBRACON / IE-SP, 1995. p. 535 – 561.

PCA - Portland Cement Association. **Bonding Roller Compacted Concrete Layers**. In: Concrete Information. IS231.01W. PCA, Skokie, Illinois, USA, 1987. 8 p.

RIBEIRO, A. B. **Betão Compactado com Cilindros. Composição e Características**. Tese (Doutorado), 1998, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia.

RIBEIRO, A. B.; DIÉZ-CASCÓN, J.; GONÇALVES, A. A Roller Compacted Concrete – Tensile Strength of Horizontal Joints. **Materials and Structures**, v.34, August-September, 2001.

RIBEIRO, A. B.; SANTANA, T.; SILVA GOMES, A. The Influence of Consistency of RCC in the Quality of the Joints between Layers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RCC DAM CONSTRUCTION IN MIDDLE EAST, 2002, Irbid, Jordan. **Proceedings...** Irbid: Jordan University of Science and Technology, 2002. p. 294-304.

RIBEIRO, C.; NOGUEIRA, J. R. G.; MARINO, M. A. Estudos Comparativos de Resistência a Tração do CCR: Tração Direta X Tração por Compressão Diametral. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 310-316.

RIBEIRO, J. S. **Avaliação do Desempenho de Blocos de Concreto para Alvenaria com e sem Função Estrutural, Produzidos com Resíduos de Concreto Compactado com Rolo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

SCHRADER, E. K. The First Concrete Gravity Dam Designed and Built for Roller-Compacted Construction Methods. **Concrete International**, Farmington Hills, v.4, n. 10, 1982. p. 15-84.

SCHRADER, E. K. Willow Creek Dam - An Optimum Gravity RCC Dam with Vertical Upstream Face. Rolled Concrete for Dams. In: INTERNATIONAL CIRIA CONFERENCE, 1981, London. **Proceedings...**

SCHRADER, E. K.; MCKINNON, R. Construction of Willow Creek Dam. **Concrete International**, Farmington Hills, v. 6, n. 5, 1984. p. 38-45.

SCHRADER, E. K.; THAYER, H. J. Willow Creek Dam A Roller Compacted Concrete Fill., In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 14., 1982, Rio de Janeiro, Brasil. **Transactions...** Paris: CIGB/ICOLD, 1982. v. 4, p. 453-479.

SCHREIBER, G. P. **Usinas Hidrelétricas.** São Paulo: ed.Edgar Blücher ,1981.

SERAFIM, J. L. Relato Geral. Questão 62, In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 16., 1988, San Francisco, EUA. **Proceedings...** Paris: CIGB/ICOLD, 1988. v.3, p. 761-906.

SHARMA, H.D. **Concrete Dams**. New Delhi: Metropolitan Book, 1981.

TRABOULSI, M.A. **Ensaio de avaliação de estruturas acabadas – densímetro nuclear**. Trabalho apresentado ao curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), disciplina de Patologia das Estruturas de concreto ministrada pelo Professor Doutor Luiz Carlos P. Silva Filho. Goiânia, 2004

TRICHÊS, G. Pavimentação do Trecho Experimental de Itajaí com Concreto Compactado a Rolo: Aspectos do Processo Construtivo, Qualidade do Pavimento Acabado e Recomendações para Construções Futuras. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBGB/ IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 393-422.

ULHOA, A. D.; DORN, A. A.; CARMO, J. B. M.; FARIA, R. A. S.; AZAMBUJA, R.; PICADA, R. F.; PERGHER, R.; FRIMM, R. L.; APPEL, S.; PACELLI DE ANDRADE, W. Detalhes de Projeto e Adequação de Equipamentos para Produção de CCR - Barragem de Bertarello Bento Gonçalves – RS. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 65-72.

VARLET, H. **Presas de Embalse**. Madrid: ed. Interciencia, 1972.

VICARI, L. F.; SILVA, N. A.; SILVEIRA, R. L.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI DE ANDRADE, W. Estudos de Concreto Compactado Com Rolo Com Alto Teor de Finos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 3., 1998, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** Curitiba: Paranaset, 1998. p. 183-203.

ZHIDA, D.; MA, L. Construction of Jiangya RCC dam. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RCC DAM, 1999, Chengdu, China. **Proceedings...** Beijing, China: IWHR, 1999. v. 2. p. 759-767.

**ANEXO A – CONCRETO FRESCO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS**

Nas Tabelas A.1 e A.2 são apresentados os resultados dos ensaios individuais realizados com o concreto compactado com rolo no estado fresco.

Tabela A.1 Ensaio com CCR Fresco

Pista	Dosagem E-	Cannon Time (s)	Massa Específica (kg/m ³)			M.E. Densímetro Nuclear (kg/m ³)				DMA (kg/m ³)	Relação γ_c/γ_t	Umidade Integral (%)	Umidade Argamassa (%)	Permeab. (m/s) x 10 ⁻⁸
			Teórica (%)	Obtida (%)	Solto	Profundidade (mm)	50	100	150					
Pista 04	8289	20	2549	2565	1708	2506	2555	2561	2570	1,000	6,98	7,70	3,175	
Pista 04	7780	22	2549	2525	1653	--	2505	2540	2538	0,990	6,02	9,59	2,625	
Pista 04	7781	20	2549	2526	1659	--	2549	2572	2564	0,990	6,82	8,77	3,175	
Pista 04	7782	20	2549	2529	1660	--	2530	2533	2536	0,990	--	--	2,947	
Pista 07	8289	23	2549	2520	1695	2506	2555	2561	2542	0,989	6,98	7,70	3,175	
Pista 07	8301	20	2549	2535	1872	--	2481	2531	2547	0,990	6,02	9,59	3,000	
Pista 07	8302	23	2549	2524	1781	--	2489	2507	2543	0,990	6,82	8,77	3,400	
Pista 07	8303	20	2549	2518	1810	--	2523	2524	2540	0,990	--	--	3,400	
Pista 08	8289	23	2549	2520	1695	--	2518	2518	2552	0,989	6,98	7,70	3,700	
Pista 08	8323	28	2549	2504	1654	--	2499	2508	2562	0,982	--	--	2,300	
Pista 08	8324	28	2549	2548	1686	--	2474	2506	2542	1,000	--	--	2,300	
Pista 08	8325	28	2549	2541	1631	--	2474	2522	2592	0,997	--	--	2,300	
Pista 12	8289	22	2549	2518	1608	--	2490	2552	2534	0,988	--	--	3,700	
Pista 12	9259	23	2549	2528	1652	--	2505	2540	2538	0,992	--	--	2,400	
Pista 12	9260	19	2549	2504	1635	--	2514	2540	2523	0,982	--	--	3,400	
Pista 12	9261	19	2549	2516	1670	--	2556	2525	2514	0,987	--	--	3,400	
Pista 13	8289	22	2549	2518	1608	--	2490	2552	2534	0,988	--	--	3,175	
Pista 13	9526	23	2549	2500	1619	--	2485	2514	2539	0,981	--	--	6,847	
Pista 13	9541	19	2549	2499	1736	--	2549	2572	2564	0,980	--	--	3,632	
Pista 13	9542	18	2549	2578	1703	--	2511	2538	2577	1,000	--	--	2,492	
Pista 14	8289	23	2549	2547	1689	--	2511	2528	--	0,999	7,01	8,60	3,175	
Pista 14	9608	20	2549	2521	1625	--	2536	2523	2516	0,989	7,39	7,61	2,720	
Pista 14	9610	21	2549	2536	1687	--	2550	2563	2528	0,995	6,74	9,33	2,720	
Pista 14	9612	16	2549	2513	1695	--	2530	2533	2536	0,986	7,66	11,08	2,720	
Pista 15	9657	20	2549	2509	1736	2485	2495	2503	--	0,984	--	--	4,089	
Pista 15	9658	20	2549	2509	1736	--	2485	2495	--	0,984	--	--	4,089	

Tabela A.2 Ensaio com CCR Fresco

Pista	Dosagem E-	Cannon Time (s)	Massa Específica (kg/m ³)			M.E. Densímetro Nuclear (kg/m ³)				DMA (kg/m ³)	Relação γ_e/γ_t	Umidade Integral (%)	Umidade Argamassa (%)	Permeab. (m/s) x 10 ⁻⁸
			Teórica (γ_t)	Obtida (γ_e)	Solto	50	100	150	200					
Pista 15	9659	20	2549	2521	1684	--	2542	2566	2552	2564	0,989	7,51	8,14	3,175
Pista 15	9660	20	2549	2521	1684	--	2542	2566	2552	2564	0,989	7,51	8,14	3,175
Pista 15	9661	22	2549	2557	1686	--	2491	2519	2507	2565	1,000	7,34	9,36	2,720
Pista 15	9662	19	2549	2526	1669	--	--	--	--	2547	0,991	6,08	8,38	2,265
Pista 16	9693	18	2549	2522	1730	--	2550	2520	2521	2576	0,989	7,64	8,81	--
Pista 16	9694	18	2549	2522	1730	--	2550	2520	2521	2576	0,989	7,64	8,81	--
Pista 16	9695	17	2549	2515	1783	--	2531	2506	--	2579	0,987	7,95	9,16	--
Pista 16	9696	17	2549	2515	1783	--	2531	2506	--	2579	0,987	7,95	9,16	--
Pista 16	9697	19	2549	2532	1724	--	2535	2556	2527	2573	0,993	7,18	--	--
Pista 16	9698	18	2549	2537	1827	--	2514	2546	2528	2576	0,995	6,61	7,39	--
Pista 17	9799	16	2549	2511	1833	--	2504	2532	2525	2569	0,985	7,49	9,20	1,810
Pista 17	9800	16	2549	2511	1833	--	2504	2532	2525	2569	0,985	7,49	9,20	1,810
Pista 17	9801	18	2549	2528	1746	--	2558	2540	2526	2588	0,992	7,74	8,55	3,632
Pista 17	9802	18	2549	2528	1746	--	2558	2540	2526	2588	0,992	7,74	8,55	3,632
Pista 17	9824	16	2549	2528	1771	--	2507	2574	2530	2539	0,992	--	--	--
Pista 17	9825	20	2549	2527	1655	--	2524	2524	2538	2562	0,991	--	--	--
Pista 18	9892	20	2549	2510	1626	--	2543	2549	--	2569	0,985	6,67	8,59	4,089
Pista 18	9893	20	2549	2510	1626	--	2543	2549	--	2569	0,985	6,67	8,59	4,089
Pista 18	9901	18	2549	2511	1652	--	2508	2505	2526	2558	0,985	6,97	9,20	3,632
Pista 18	9902	18	2549	2511	1652	--	2508	2505	2526	2558	0,985	6,97	9,20	3,632
Pista 18	9903	19	2549	2518	1628	--	2512	2552	2506	2534	0,988	6,62	8,49	4,547
Pista 18	9903	20	2549	2518	1616	--	2544	2566	2545	2577	0,989	--	--	--
Pista 35	11125	20	2549	2502	1608	--	2512	2523	--	2575	0,982	6,23	--	--
Pista 35	11126	19	2549	2510	1618	2508	2536	2555	2590	2525	0,985	7,40	8,95	--
Pista 35	11127	19	2549	2519	1665	--	2501	2552	2569	2580	0,989	7,61	9,26	--
Pista 35	11128	19	2549	2527	1632	2559	2513	2586	--	--	0,992	--	--	--

**ANEXO B – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO SIMPLES E MASSA ESPECÍFICA – NA
CAMADA**

Nas Tabelas B.1 e B.2 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão simples para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela B.1 Resistência à Compressão simples - Corpos-de-prova moldados.

Pista Nº	Dosagem E-	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 04	E-8289	7	2,70
Pista 04	E-7780		2,00
Pista 04	E-7781		2,40
Pista 04	E-7782		2,10
Pista 07	E-8303		2,00
Pista 08	E-8324		2,60
Pista 12	E-9261		2,20
Pista 13	E-9542		2,30
Pista 14	E-9612		2,30
Pista 04	E-8289	28	4,90
Pista 04	E-7780		4,40
Pista 04	E-7781		3,80
Pista 04	E-7782		3,70
Pista 07	E-8301		3,70
Pista 07	E-8302		3,90
Pista 07	E-8303		3,70
Pista 08	E-8323		4,30
Pista 08	E-8324		4,40
Pista 08	E-8325		4,50
Pista 12	E-9259		4,80
Pista 12	E-9260		4,90
Pista 12	E-9261		4,70
Pista 13	E-9526		4,60
Pista 13	E-9541		4,60
Pista 13	E-9542		4,50
Pista 14	E-9608		4,30
Pista 14	E-9610		4,50
Pista 14	E-9612		4,50
Pista 15	E-9657		4,40
Pista 16	E-9693	4,60	
Pista 17	E-9799	4,50	
Pista 18	E-9892	5,10	
Pista 04	E-8289	90	9,30
Pista 07	E-8301		7,40
Pista 07	E-8302		6,80
Pista 07	E-8303		7,70
Pista 08	E-8323		8,00
Pista 08	E-8324		9,30
Pista 08	E-8325		9,20
Pista 12	E-9259		8,10
Pista 12	E-9260		8,40
Pista 12	E-9261		8,30
Pista 13	E-9526		8,20
Pista 13	E-9541		8,50
Pista 13	E-9542		7,60
Pista 14	E-9608		7,30

Pista N°	Dosagem E-	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 14	E-9610	90	7,70
Pista 14	E-9612		7,70
Pista 15	E-9657		8,20
Pista 16	E-9693		8,50
Pista 17	E-9799		8,30
Pista 18	E-9892		8,50
Pista 12	E-9261	120	8,80
Pista 13	E-9542		8,80
Pista 14	E-9612		8,60
Pista 35	E-11125		11,10
Pista 35	E-11125		11,40
Pista 35	E-11125		11,30
Pista 35	E-11126		10,80
Pista 35	E-11126		10,70
Pista 35	E-11126		10,60
Pista 35	E-11126		10,30
Pista 35	E-11126		10,70
Pista 35	E-11126		10,70
Pista 35	E-11127		10,50
Pista 35	E-11127		10,80
Pista 35	E-11127		10,70
Pista 35	E-11128		9,40
Pista 35	E-11128	10,30	
Pista 35	E-11128	10,50	
Pista 04	E-8289	180	12,30
Pista 07	E-8303		10,10
Pista 08	E-8324		12,30
Pista 12	E-9259		10,30
Pista 12	E-9260		10,20
Pista 12	E-9261		9,40
Pista 13	E-9526		11,10
Pista 13	E-9541		11,30
Pista 13	E-9542		10,60
Pista 14	E-9608		8,00
Pista 14	E-9610		9,40
Pista 14	E-9612		9,80
Pista 15	E-9657		10,40
Pista 18	E-9892	10,40	
Pista 04	E-8289	365	13,20
Pista 07	E-8303		11,90
Pista 08	E-8324		12,60

Tabela B.2 Resistência à Compressão simples - Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 07	P7F2CP2	120	8,20
Pista 07	P7F3CP1		6,80
Pista 07	P7F4CP1		5,90
Pista 07	P7F5CP1		7,40
Pista 07	P7F5CP2		8,00
Pista 07	P7F6CP1		6,50
Pista 07	P7F7CP1		7,20
Pista 07	P7F12CP1		6,00
Pista 07	P7F12CP2		5,80
Pista 08	P8F1CP3		10,90
Pista 08	P8F2CP3		10,10
Pista 08	P8F7CP2		9,80
Pista 12	P12F1CP1		5,40
Pista 12	P12F2CP1		5,40
Pista 12	P12F11CP1		5,80
Pista 12	P12F15CP1		5,40
Pista 12	P12F18CP1		5,40
Pista 12	P12F20CP1		6,40
Pista 12	P12F22CP1		5,70
Pista 12	P12F23CP1		5,60
Pista 12	P12F25CP1		6,70
Pista 12	P12F27CP1		6,00
Pista 12	P12F28CP1		7,00
Pista 12	P12F28CP2		9,10
Pista 13	P13F1CP1		6,90
Pista 13	P13F2CP1		7,00
Pista 13	P13F10CP1		6,70
Pista 13	P13F15CP1		5,80
Pista 13	P13F21CP2		6,00
Pista 13	P13F26CP1		6,30
Pista 13	P13F28CP1		6,70
Pista 14	P14F7CP1		6,00
Pista 14	P14F8CP1		5,90
Pista 14	P14F14CP1		5,30
Pista 14	P14F16CP1		5,50
Pista 14	P14F17CP1		5,70
Pista 14	P14F25CP1		6,20
Pista 14	P14F27CP1		5,60
Pista 14	P14F28CP2		8,40
Pista 15	P15F2CP2		6,80
Pista 15	P15F12CP1	6,40	
Pista 17	P17F19CP2	5,90	
Pista 18	P18F23CP1	6,50	
Pista 18	P18F23CP2	6,60	
Pista 35	P35F9CP1	9,90	
Pista 35	P35F9CP2	8,90	
Pista 35	P35F9CP3	8,60	
Pista 35	P35F10CP1	9,10	
Pista 35	P35F10CP2	8,70	
Pista 35	P35F10CP3	7,90	
Pista 35	P35F11CP1	9,30	
Pista 35	P35F11CP2	8,50	
Pista 35	P35F11CP3	8,40	
Pista 35	P35F12CP1	8,50	

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 35	P35F12CP2	120	8,70
Pista 35	P35F12CP3		7,90
Pista 35	P35F13CP1		9,20
Pista 35	P35F13CP2		9,30
Pista 35	P35F13CP3		8,30
Pista 35	P35F14CP1		9,10
Pista 35	P35F14CP2		8,40
Pista 35	P35F14CP3		7,90
Pista 35	P35F29CP1		8,40
Pista 35	P35F29CP2		8,80
Pista 35	P35F29CP3		8,40
Pista 35	P35F30CP1		8,60
Pista 35	P35F30CP2		8,70
Pista 35	P35F30CP3		7,80
Pista 35	P35F31CP1		8,90
Pista 35	P35F31CP2		8,50
Pista 35	P35F31CP3		7,70
Pista 35	P35F32CP1		9,00
Pista 35	P35F32CP2		9,30
Pista 35	P35F32CP3		9,20
Pista 35	P35F33CP1		9,20
Pista 35	P35F33CP2		9,10
Pista 35	P35F34CP1		9,10
Pista 35	P35F34CP2		8,80
Pista 35	P35F34CP3		8,60
Pista 04	P4F2BCP3		180
Pista 04	P4F3BCP1	6,90	
Pista 04	P4F3CCP1	7,50	
Pista 04	P4F4CCP1	6,80	
Pista 04	P4F5DCP2	7,50	
Pista 04	P4F7DCP2	6,40	
Pista 04	P4F8DCP1	4,90	
Pista 04	P4F10GCP2	5,10	
Pista 04	P4F11GCP2	7,30	
Pista 07	P7F11CP3	6,50	
Pista 07	P7F1CP1	8,20	
Pista 07	P7F2CP1	8,40	
Pista 08	P8F8CP1	10,40	
Pista 08	P8F9CP1	9,20	
Pista 08	P8F10CP3	10,90	
Pista 12	P12F3CP1	6,40	
Pista 12	P12F3CP2	5,70	
Pista 12	P12F4CP1	6,70	
Pista 12	P12F12CP1	5,40	
Pista 12	P12F16CP1	5,80	
Pista 12	P12F19CP1	9,10	
Pista 12	P12F20CP2	10,00	
Pista 12	P12F22CP2	8,40	
Pista 12	P12F24CP1	7,60	
Pista 12	P12F26CP1	6,90	
Pista 12	P12F27CP2	9,10	
Pista 12	P12F28CP3	10,50	
Pista 13	P13F3CP1	7,60	
Pista 13	P13F5CP1	7,70	
Pista 13	P13F11CP1	7,10	

Pista N°	Identificação do CP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 13	P13F16CP1	180	7,60
Pista 13	P13F19CP2		7,70
Pista 13	P13F23CP2		7,90
Pista 14	P14F12CP2		8,90
Pista 14	P14F13CP1		5,90
Pista 14	P14F14CP2		8,40
Pista 14	P14F16CP2		8,80
Pista 14	P14F21CP1		7,10
Pista 14	P14F25CP2		8,40
Pista 14	P14F28CP1		6,60
Pista 15	P15F22CP1		7,60
Pista 15	P15F22CP2		7,50
Pista 15	P15F23CP2		8,50
Pista 16	P16F16CP1		7,50
Pista 17	P17F18CP3		7,00
Pista 17	P17F22CP2		7,20
Pista 18	P18F24CP1		8,00
Pista 18	P18F23CP3		7,30
Pista 04	P4F1BCP2	365	11,80
Pista 04	P4F2ACP1		7,00
Pista 04	P4F2ACP2		9,60
Pista 04	P4F3ACP1		7,60
Pista 04	P4F8BCP1		7,70
Pista 04	P4F8BCP2		9,90
Pista 04	P4F8DCP3		8,40
Pista 04	P4F9GCP2		7,30
Pista 04	P4F9GCP3		7,80
Pista 07	P7F12CP3		7,20
Pista 07	P7F13CP1		6,60
Pista 07	P7F14CP1		6,80
Pista 07	P7F15CP1		6,40
Pista 07	P7F17CP1		8,70
Pista 08	P8F12CP1		10,50
Pista 08	P8F13CP1		10,60
Pista 08	P8F14CP3		12,60

Nas Tabelas B.3 e B.4 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de massa específica do concreto endurecido para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela B.3 Massa Específica - Corpos-de-prova moldados.

Pista Nº	Dosagem E-	Idade (dia)	Massa Específica (Kg/m ³)	
Pista 07	E-8303	7	2550	
Pista 08	E-8324		2532	
Pista 12	E-9261		2515	
Pista 13	E-9542		2511	
Pista 14	E-9612		2513	
Pista 07	E-8289	28	2542	
Pista 07	E-8301		2549	
Pista 07	E-8302		2555	
Pista 07	E-8303		2535	
Pista 08	E-8323		2545	
Pista 08	E-8324		2529	
Pista 08	E-8325		2536	
Pista 12	E-9259		2542	
Pista 12	E-9260		2560	
Pista 12	E-9261		2541	
Pista 13	E-9526		2550	
Pista 13	E-9541		2533	
Pista 13	E-9542		2531	
Pista 14	E-9608		2560	
Pista 14	E-9610		2543	
Pista 14	E-9612		2530	
Pista 15	E-9657		2539	
Pista 16	E-9693		2562	
Pista 17	E-9799		2500	
Pista 18	E-9892		2557	
Pista 08	E-8289	90	2543	
Pista 08	E-8323		2561	
Pista 08	E-8324		2538	
Pista 08	E-8325		2542	
Pista 12	E-9259		2541	
Pista 12	E-9260		2558	
Pista 12	E-9261		2527	
Pista 13	E-9526		2535	
Pista 13	E-9541		2517	
Pista 13	E-9542		2515	
Pista 14	E-9608		2550	
Pista 14	E-9610		2548	
Pista 14	E-9612		2519	
Pista 15	E-9657		2540	
Pista 16	E-9693		2557	
Pista 17	E-9799		2515	
Pista 18	E-9892		2548	
Pista 12	E-9261		120	2518
Pista 13	E-9542			2532
Pista 14	E-9612			2530

Pista N°	Dosagem E-	Idade (dia)	Massa Específica (Kg/m³)
Pista 35	E-11125	120	2517
Pista 35	E-11125		2519
Pista 35	E-11125		2517
Pista 35	E-11126		2541
Pista 35	E-11126		2524
Pista 35	E-11126		2529
Pista 35	E-11127		2549
Pista 35	E-11127		2525
Pista 35	E-11127		2558
Pista 35	E-11128		2500
Pista 35	E-11128		2530
Pista 35	E-11128		2524
Pista 07	E-8289	120	2620
Pista 07	E-8303		2539
Pista 08	E-8324		2518
Pista 12	E-8289		2559
Pista 12	E-9259		2529
Pista 12	E-9260		2544
Pista 12	E-9261		2526
Pista 13	E-9526		2540
Pista 13	E-9541		2530
Pista 13	E-9542		2518
Pista 14	E-9608		2543
Pista 14	E-9610		2530
Pista 14	E-9612		2530
Pista 15	E-9657		2537
Pista 18	E-9892		2520
Pista 07	E-8289	365	2559
Pista 07	E-8303		2523
Pista 08	E-8324		2545

Tabela B.4 Massa Específica - Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 07	P7F2CP2	120	2517
Pista 07	P7F3CP1		2505
Pista 07	P7F4CP1		2493
Pista 07	P7F5CP1		2512
Pista 07	P7F5CP2		2515
Pista 07	P7F6CP1		2510
Pista 07	P7F7CP1		2502
Pista 07	P7F12CP1		2543
Pista 07	P7F12CP2		2500
Pista 08	P8F1CP3		2565
Pista 08	P8F2CP3		2541
Pista 08	P8F7CP2		2529
Pista 12	P12F1CP1		2522
Pista 12	P12F2CP1		2535
Pista 12	P12F11CP1		2517
Pista 12	P12F15CP1		2537
Pista 12	P12F18CP1		2508
Pista 12	P12F20CP1		2525
Pista 12	P12F22CP1		2532
Pista 12	P12F23CP1		2517
Pista 12	P12F25CP1		2510
Pista 12	P12F27CP1		2511
Pista 12	P12F28CP1		2508
Pista 12	P12F28CP2		2520
Pista 13	P13F1CP1		2492
Pista 13	P13F2CP1		2500
Pista 13	P13F10CP1		2509
Pista 13	P13F15CP1		2523
Pista 13	P13F21CP2		2527
Pista 13	P13F26CP1		2509
Pista 13	P13F28CP1		2518
Pista 14	P14F7CP1		2490
Pista 14	P14F8CP1		2514
Pista 14	P14F14CP1		2489
Pista 14	P14F16CP1		2520
Pista 14	P14F17CP1		2488
Pista 14	P14F25CP1		2511
Pista 14	P14F27CP1		2491
Pista 14	P14F28CP2		2539
Pista 15	P15F2CP2		2509
Pista 15	P15F12CP1	2539	
Pista 17	P17F19CP2	2538	
Pista 18	P18F23CP1	2528	
Pista 18	P18F23CP2	2505	
Pista 35	P35F9CP1	2573	
Pista 35	P35F9CP2	2559	
Pista 35	P35F9CP3	2542	
Pista 35	P35F10CP1	2542	
Pista 35	P35F10CP2	2529	
Pista 35	P35F10CP3	2538	
Pista 35	P35F11CP1	2528	
Pista 35	P35F11CP2	2528	
Pista 35	P35F11CP3	2552	
Pista 35	P35F12CP1	2539	

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 35	P35F12CP2	120	2539
Pista 35	P35F12CP3		2568
Pista 35	P35F13CP1		2572
Pista 35	P35F13CP2		2566
Pista 35	P35F13CP3		2558
Pista 35	P35F14CP1		2549
Pista 35	P35F14CP2		2546
Pista 35	P35F14CP3		2547
Pista 35	P35F29CP1		2545
Pista 35	P35F29CP2		2544
Pista 35	P35F29CP3		2543
Pista 35	P35F30CP1		2548
Pista 35	P35F30CP2		2541
Pista 35	P35F30CP3		2541
Pista 35	P35F31CP1		2529
Pista 35	P35F31CP2		2538
Pista 35	P35F31CP3		2559
Pista 35	P35F32CP1		2557
Pista 35	P35F32CP2		2549
Pista 35	P35F32CP3		2557
Pista 35	P35F33CP2		2550
Pista 35	P35F34CP1		2528
Pista 35	P35F34CP2		2560
Pista 35	P35F34CP3		2552
Pista 04	P4F2BCP3	180	2412
Pista 04	P4F3BCP1		2456
Pista 04	P4F3CCP1		2441
Pista 04	P4F4CCP1		2441
Pista 04	P4F5DCP2		2440
Pista 04	P4F7DCP2		2423
Pista 04	P4F8DCP1		2454
Pista 04	P4F10GCP2		2441
Pista 07	P7F11CP3		2542
Pista 07	P7F1CP1		2532
Pista 07	P7F2CP1		2532
Pista 08	P8F8CP1		2574
Pista 08	P8F9CP1		2550
Pista 08	P8F10CP3		2529
Pista 12	P12F3CP1		2520
Pista 12	P12F3CP2		2539
Pista 12	P12F4CP1		2567
Pista 12	P12F12CP1		2535
Pista 12	P12F16CP1		2547
Pista 12	P12F19CP1		2531
Pista 12	P12F20CP2		2563
Pista 12	P12F22CP2		2522
Pista 12	P12F24CP1		2527
Pista 12	P12F26CP1		2525
Pista 12	P12F27CP2		2546
Pista 12	P12F28CP3		2533
Pista 14	P14F12CP2		2528
Pista 14	P14F13CP1		2510
Pista 14	P14F14CP2		2538
Pista 14	P14F16CP2		2538
Pista 14	P14F25CP2		2533

Pista N°	Identificação do CP	Idade (dia)	Resistência à Compressão (MPa)
Pista 14	P14F28CP1	180	2521
Pista 15	P15F22CP1		2507
Pista 15	P15F22CP2		2518
Pista 15	P15F23CP2		2526
Pista 16	P16F16CP1		2532
Pista 17	P17F18CP3		2536
Pista 17	P17F22CP2		2528
Pista 18	P18F24CP1		2550
Pista 18	P18F23CP3		2524
Pista 04	P4F1BCP2	365	2455
Pista 04	P4F2ACP1		2431
Pista 04	P4F2ACP2		2479
Pista 04	P4F3ACP1		2454
Pista 04	P4F8BCP1		2456
Pista 04	P4F8BCP2		2443
Pista 04	P4F8DCP3		2437
Pista 04	P4F9GCP3		2465
Pista 07	P7F12CP3		2569
Pista 07	P7F13CP1		2546
Pista 07	P7F14CP1		2540
Pista 07	P7F15CP1		2532
Pista 07	P7F17CP1		2538
Pista 08	P8F12CP1		2569
Pista 08	P8F13CP1		2546
Pista 08	P8F14CP3		2540

**ANEXO C – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
SIMPLES – NA CAMADA**

Nas Tabelas C.1 e C.2 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência à tração simples para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela C.1 Resistência à Tração Simples – Corpos-de-prova moldados.

Pista N°	Dosagem E-	Idade (dia)	Resistência à Tração Simples (MPa)
Pista 07	E-8290	7	0,58
Pista 07	E-8303		0,12
Pista 08	E-8324		0,12
Pista 12	E-9261		0,15
Pista 13	E-9542		0,23
Pista 14	E-9612		0,28
Pista 07	E-8290	28	1,15
Pista 07	E-8303		0,25
Pista 08	E-8324		0,46
Pista 12	E-9261		0,43
Pista 13	E-9542		0,41
Pista 14	E-9612		0,53
Pista 07	E-8290	90	1,51
Pista 07	E-8303		0,65
Pista 08	E-8324		0,80
Pista 12	E-9261		0,87
Pista 13	E-9542		0,76
Pista 14	E-9612		0,79
Pista 12	E-9261	120	1,06
Pista 13	E-9542		1,06
Pista 14	E-9612		0,84
Pista 07	E-8303	180	0,85
Pista 08	E-8324		1,07
Pista 12	E-9261		1,14
Pista 13	E-9542		1,11
Pista 14	E-9612		0,99
Pista 07	E-8303	365	1,11
Pista 08	E-8324		1,18

Tabela C.2 Resistência à Tração Simples – Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Tração Simples (MPa)
Pista 07	P7F8CP1	120	0,40
Pista 07	P7F7CP2		0,33
Pista 07	P7F8CP2		0,39
Pista 08	P8F24CP1		0,72
Pista 12	P12F5CP1		0,82
Pista 12	P12F13CP1		0,78
Pista 12	P12F21CP1		0,61
Pista 12	P12F16CP2		0,87
Pista 12	P12F24CP2		0,64
Pista 13	P13F11CP2		0,71
Pista 13	P13F12CP1		0,52
Pista 13	P13F16CP2		0,72
Pista 13	P13F24CP2		0,69
Pista 14	P14F19CP1		0,72
Pista 14	P14F19CP2		0,70
Pista 14	P14F27CP2		0,64
Pista 04	P4F8CCP1	180	0,41
Pista 04	P4F11GCP1		0,59
Pista 04	P4F12GCP1		0,51
Pista 07	P7F9CP1		0,42
Pista 08	P8F25CP1		0,55
Pista 08	P8F26CP1		0,65
Pista 12	P12F6CP1		0,66
Pista 12	P12F7CP1		0,59
Pista 12	P12F14CP1		0,90
Pista 12	P12F17CP1		0,64
Pista 12	P12F22CP3		0,57
Pista 12	P12F24CP3		0,84
Pista 13	P13F13CP2		0,63
Pista 13	P13F25CP2		0,89
Pista 14	P14F22CP1		0,85
Pista 14	P14F22CP2		0,57
Pista 14	P14F27CP3	0,73	
Pista 04	P4F4DCP1	365	0,60
Pista 04	P4F6DCP2		0,69
Pista 04	P4F7ACP2		0,69
Pista 08	P8F28CP3		0,68

**ANEXO D – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NA CAMADA**

Nas Tabelas D.1 e D.2 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela D.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral – corpos-de-prova moldados.

Pista N°	Dosagem E-	Idade (dia)	Resistência à Tração Diametral (MPa)
Pista 07	E-8303	7	0,24
Pista 08	E-8324		0,12
Pista 12	E-9261		0,25
Pista 13	E-9542		0,22
Pista 14	E-9612		0,31
Pista 07	E-8303	28	0,53
Pista 08	E-8324		0,64
Pista 12	E-9261		0,64
Pista 13	E-9542		0,65
Pista 14	E-9612		0,73
Pista 07	E-8303	90	1,14
Pista 08	E-8324		1,40
Pista 12	E-9261		1,20
Pista 13	E-9542		1,24
Pista 14	E-9612		1,21
Pista 12	E-9261	120	1,31
Pista 13	E-9542		1,33
Pista 14	E-9612		1,30
Pista 35	E-11125		1,40
Pista 35	E-11125		1,54
Pista 35	E-11125		1,71
Pista 35	E-11126		1,60
Pista 35	E-11126		1,54
Pista 35	E-11126		1,51
Pista 35	E-11126		1,40
Pista 35	E-11126		1,68
Pista 35	E-11126		1,29
Pista 35	E-11127		1,73
Pista 35	E-11127		1,57
Pista 35	E-11127		1,49
Pista 35	E-11128		1,68
Pista 35	E-11128		1,76
Pista 35	E-11128	1,65	
Pista 07	E-8303	180	1,5
Pista 08	E-8324		1,78
Pista 12	E-9261		1,60
Pista 13	E-9542		1,78
Pista 14	E-9612		1,64
Pista 07	E-8303	365	1,82
Pista 08	E-8324		1,90

Tabela D.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral – Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Resistência à Tração Diametral (MPa)
Pista 07	P7F22CP1	120	0,87
Pista 07	P7F23CP1		0,83
Pista 08	P8F14CP1		1,44
Pista 08	P8F14CP2		1,36
Pista 12	P12F1CP3		1,51
Pista 12	P12F5CP3		1,20
Pista 12	P12F23CP2		0,86
Pista 13	P13F1CP2		1,35
Pista 13	P13F1CP3		1,17
Pista 14	P14F18CP1		1,42
Pista 14	P14F18CP2		1,56
Pista 14	P14F25CP3		1,47
Pista 04	P4F7BCP2	180	1,20
Pista 04	P4F8ACP2		1,39
Pista 07	P7F24CP1		0,90
Pista 08	P8F17CP2		1,48
Pista 08	P8F23CP1		1,50
Pista 12	P12F8CP1		1,44
Pista 12	P12F9CP1		1,37
Pista 14	P14F20CP1		1,18
Pista 14	P14F20CP2		1,35
Pista 14	P14F26CP1		1,07
Pista 07	P7F27CP1	365	1,07
Pista 07	P7F26CP2		1,24
Pista 08	P8F27CP1		1,78

**ANEXO E – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE MÓDULO DE
ELASTICIDADE – NA CAMADA**

Nas Tabelas E.1 e E.2 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de módulo de elasticidade para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela E.1 Módulo de Elasticidade – Corpos-de-prova moldados.

Pista N°	Dosagem E-	Idade (dia)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Pista 07	E-8303	7	3,15
Pista 08	E-8324		2,51
Pista 12	E-9261		9,06
Pista 13	E-9542		6,02
Pista 14	E-9612		7,24
Pista 07	E-8303	28	10,14
Pista 08	E-8324		13,76
Pista 12	E-9261		17,08
Pista 13	E-9542		18,95
Pista 14	E-9612		24,46
Pista 07	E-8303	90	24,60
Pista 08	E-8324		29,30
Pista 14	E-9612		29,63
Pista 12	E-9261	120	27,10
Pista 13	E-9542		33,43
Pista 14	E-9612		35,40
Pista 35	E-11125		33,60
Pista 35	E-11125		34,60
Pista 35	E-11125		34,80
Pista 35	E-11126		35,90
Pista 35	E-11126		30,20
Pista 35	E-11126		31,90
Pista 35	E-11126		31,10
Pista 35	E-11126		33,70
Pista 35	E-11126		33,60
Pista 35	E-11127		33,10
Pista 35	E-11127		36,90
Pista 35	E-11127		34,10
Pista 35	E-11128		25,80
Pista 35	E-11128		26,60
Pista 35	E-11128		27,9
Pista 08	E-8324		180
Pista 12	E-9261	30,33	
Pista 13	E-9542	33,00	
Pista 07	E-8303	365	33,10
Pista 08	E-8324		41,17

Tabela E.2 Módulo de Elasticidade – Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Pista 07	P7F3CP1	120	9,65
Pista 07	P7F6CP1		11,31
Pista 07	P7F12CP1		10,01
Pista 07	P7F12CP2		14,92
Pista 08	P8F1CP3		14,92
Pista 08	P8F2CP3		12,87
Pista 12	P12F1CP1		17,39
Pista 12	P12F2CP1		12,80
Pista 12	P12F11CP1		13,11
Pista 12	P12F15CP1		18,11
Pista 12	P12F18CP1		17,74
Pista 12	P12F20CP1		16,16
Pista 12	P12F22CP1		15,75
Pista 12	P12F23CP1		16,04
Pista 12	P12F25CP1		15,46
Pista 12	P12F27CP1		16,70
Pista 12	P12F28CP1		15,78
Pista 12	P12F28CP2		15,02
Pista 13	P13F1CP1		9,86
Pista 13	P13F2CP1		13,48
Pista 13	P13F10CP1		11,89
Pista 13	P13F15CP1		9,92
Pista 13	P13F21CP2		10,97
Pista 13	P13F26CP1		11,03
Pista 13	P13F28CP1		9,46
Pista 14	P14F7CP1		9,38
Pista 14	P14F8CP1		10,93
Pista 14	P14F14CP1		13,83
Pista 14	P14F16CP1		11,71
Pista 14	P14F17CP1		12,07
Pista 14	P14F25CP1		11,28
Pista 14	P14F27CP1		16,56
Pista 15	P15F2CP2		13,53
Pista 17	P17F19CP2		10,70
Pista 18	P18F23CP2		18,40
Pista 35	P35F9CP1		17,20
Pista 35	P35F9CP2		14,70
Pista 35	P35F9CP3		19,50
Pista 35	P35F10CP1		14,90
Pista 35	P35F10CP2		12,40
Pista 35	P35F10CP3	19,10	
Pista 35	P35F11CP1	13,30	
Pista 35	P35F11CP2	15,30	
Pista 35	P35F11CP3	16,10	
Pista 35	P35F12CP1	15,60	
Pista 35	P35F12CP2	13,60	
Pista 35	P35F12CP3	17,60	
Pista 35	P35F13CP1	20,00	
Pista 35	P35F13CP2	15,20	
Pista 35	P35F13CP3	16,80	
Pista 35	P35F14CP1	11,20	
Pista 35	P35F14CP2	11,00	
Pista 35	P35F14CP3	16,50	
Pista 35	P35F29CP1	15,30	

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Pista 35	P35F29CP2	120	15,80
Pista 35	P35F29CP3		16,70
Pista 35	P35F30CP1		9,50
Pista 35	P35F30CP2		12,00
Pista 35	P35F30CP3		16,00
Pista 35	P35F31CP1		11,90
Pista 35	P35F31CP2		13,40
Pista 35	P35F31CP3		17,80
Pista 35	P35F32CP1		19,80
Pista 35	P35F32CP2		16,70
Pista 35	P35F32CP3		13,10
Pista 35	P35F33CP1		15,50
Pista 35	P35F33CP2		18,30
Pista 35	P35F34CP1		11,30
Pista 35	P35F34CP2		14,40
Pista 04	P4F2BCP3	180	14,56
Pista 04	P4F3BCP1		17,52
Pista 04	P4F7DCP2		12,00
Pista 04	P4F8DCP1		12,00
Pista 04	P4F10GCP2		22,15
Pista 04	P4F11GCP2		19,55
Pista 07	P7F1CP1		18,81
Pista 07	P7F2CP1		19,05
Pista 07	P7F11CP3		21,89
Pista 08	P8F8CP1		20,28
Pista 08	P8F9CP1		18,54
Pista 12	P12F3CP1		13,79
Pista 12	P12F3CP2		11,20
Pista 12	P12F4CP1		10,97
Pista 12	P12F16CP1		11,01
Pista 12	P12F19CP1		20,16
Pista 12	P12F20CP2		12,23
Pista 12	P12F26CP1		11,41
Pista 12	P12F27CP2		14,58
Pista 12	P12F28CP3		10,48
Pista 13	P13F16CP1		16,10
Pista 13	P13F19CP2		16,34
Pista 13	P13F23CP2		16,64
Pista 14	P14F12CP2		11,54
Pista 14	P14F13CP1		15,23
Pista 14	P14F14CP2		14,32
Pista 14	P14F16CP2		11,11
Pista 14	P14F21CP1		14,59
Pista 14	P14F25CP2		14,10
Pista 15	P15F22CP2		10,20
Pista 15	P15F23CP2		22,70
Pista 16	P16F16CP1		15,00
Pista 17	P17F18CP3	12,50	
Pista 18	P18F24CP1	10,80	
Pista 04	P4F1BCP2	365	11,10
Pista 04	P4F2ACP2		14,93
Pista 04	P4F3ACP1		12,96
Pista 04	P4F9GCP2		18,94
Pista 04	P4F9GCP2		23,86

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Pista 04	P4F9GCP3	365	12,41
Pista 07	P7F17CP1		19,10
Pista 08	P8F12CP1		20,70
Pista 08	P8F13CP1		20,50

**ANEXO F – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DIRETO – NA CAMADA**

Na Tabelas F.1 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência ao cisalhamento direto para caracterização do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos.

Tabela F.1 Cisalhamento Direto – Corpos-de-prova extraídos.

Pista Nº	Dosagem E-	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)	
Pista 07	E-8303	90	900	1963	1488	46,0	0,981	
Pista 07	E-8303		1800	2926				
Pista 07	E-8303		2700	3869				
Pista 12	E-9261		90	900	2276	1646	34,0	1,000
Pista 12	E-9261			1800	2817			
Pista 12	E-9261			2700	3490			
Pista 13	E-9542		90	900	1924	1133	45,0	0,980
Pista 13	E-9542			1800	3133			
Pista 13	E-9542			2700	3715			
Pista 14	E-9612	90	900	1773	903	46,0	0,993	
Pista 14	E-9612		1800	2895				
Pista 14	E-9612		2700	3627				
<hr/>								
Pista 08	E-8324	120	900	2321	1428	45,2	1,000	
Pista 08	E-8324		1800	3207				
Pista 08	E-8324		2700	3809				
Pista 12	E-9261		120	900	2408	1815	34,0	0,995
Pista 12	E-9261			1800	3094			
Pista 12	E-9261			2700	3586			
Pista 13	E-9542		120	900	1981	1272	40,0	0,998
Pista 13	E-9542			1800	2802			
Pista 13	E-9542			2700	3450			
Pista 14	E-9612	120	900	2074	1208	41,0	0,986	
Pista 14	E-9612		1800	2614				
Pista 14	E-9612		2700	3604				
<hr/>								
Pista 07	E-8303	180	900	2373	1569	43,7	0,991	
Pista 07	E-8303		1800	3369				
Pista 07	E-8303		2700	3758				
Pista 08	E-8324		180	900	2672	1936	39,0	0,998
Pista 08	E-8324			1800	3319			
Pista 08	E-8324			2700	3882			
Pista 14	E-9612		180	900	1790	519	53,0	0,997
Pista 14	E-9612			1800	2873			
Pista 14	E-9612			2700	4205			
<hr/>								
Pista 07	E-8303	365	900	2313	1126	53,2	1,000	
Pista 07	E-8303		1800	3485				
Pista 07	E-8303		2700	4283				
Pista 08	E-8324		365	900	2726	1714	47,5	0,992
Pista 08	E-8324			1800	3524			
Pista 08	E-8324			2700	4363			
<hr/>								
Pista 07	P7F18CP1*	180	900	1896	811	48,7	0,983	
Pista 07	P7F19CP1*		1800	2654				
Pista 07	P7F16CP2*		2700	3618				

* Corpos-de-prova extraídos

**ANEXO G – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE – NA
CAMADA**

Na Tabela G.1 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de permeabilidade à água do CCR na camada, realizados em corpos-de-prova extraídos.

Tabela G.1 Permeabilidade à Água – Corpos-de-prova extraídos.

Pista N°	Identificação doCP	Idade (dia)	Permeabilidade (m/s)
Pista 04	P4F1BCP1	120	1,204E-10
Pista 04	P4F1CCP3		5,270E-11
Pista 04	P4F1DCP3		8,124E-11
Pista 04	P4F8CCP2		2,684E-10
Pista 04	P4F2BCP2		1,672E-10
Pista 04	P4F3CCP2		1,371E-10
Pista 04	P4F3DCP2		7,800E-11
Pista 04	P4F4BCP1		1,509E-10
Pista 04	P4F5CCP2		1,130E-10
Pista 04	P4F8DCP2		1,458E-10
Pista 04	P4F2DCP1		2,707E-10
Pista 04	P4F3DCP1		6,942E-11
Pista 07	P7F2CP3		7,407E-11
Pista 07	P7F7CP3		4,337E-10
Pista 07	P7F10CP2		5,295E-10
Pista 07	P7F11CP2		5,449E-10
Pista 07	P7F20CP1		1,602E-10
Pista 08	P8F1CP1		1,279E-10
Pista 08	P8F10CP1		1,297E-10
Pista 08	P8F2CP1		9,159E-11
Pista 08	P8F4BCP1		1,079E-10
Pista 12	P12F23CP3		9,710E-12
Pista 12	P12F27CP3		1,282E-11
Pista 12	P12F5CP2		1,157E-11
Pista 12	P12F8CP2		2,100E-12

**ANEXO H – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NA JUNTA**

Nas Tabelas H.1 a H.8 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral em função das variáveis, Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição da Junta, Utilização de Argamassa de ligação e Tipo de Tratamento da Junta, realizados em corpos-de-prova extraídos nas juntas entre camadas dos maciços experimentais.

Tabela H.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 0h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 04	2C	III / IV	P4F2CCP1	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,79
Pista 04	5B	II / III	P4F5BCP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		1,09
Pista 04	11E	III / IV	P4F11ECP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,62
Pista 04	12E	III / IV	P4F12ECP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,63
Pista 04	10F	II / III	P4F10FCP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,93
Pista 04	11F	II / III	P4F11FCP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,73
Pista 04	12F	II / III	P4F12FCP1	0h	25°C	não	Ar Comprimido	0,80	
Pista 07	F30	II / III	P7F30CP1	0h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,68
Pista 07	F32	II / III	P7F32CP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,85
Pista 07	F34	II / III	P7F34CP1	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,88
Pista 07	F34	II / III	P7F34CP2	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,79
Pista 18	F25	III / IV	P18F25CP1	0h	25°C	não	Apicoamento	120	0,87
Pista 18	F25	III / IV	P18F25CP2	0h	25°C	não	Apicoamento		1,04
Pista 18	F31	III / IV	P18F31CP1	0h	25°C	não	Apicoamento		0,83
Pista 18	F31	III / IV	P18F31CP3	0h	25°C	não	Apicoamento		0,73
Pista 18	F28	III / IV	P18F28CP1	0h	25°C	não	Apicoamento	180	0,92
Pista 18	F28	III / IV	P18F28CP2	0h	25°C	não	Apicoamento		0,80
Pista 18	F34	III / IV	P18F34CP1	0h	25°C	não	Apicoamento		1,01
Pista 18	F34	III / IV	P18F34CP3	0h	25°C	não	Apicoamento		1,02

Tabela H.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 4h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 07	F29	III / IV	P7F29CP1	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,34
Pista 07	F31	III / IV	P7F31CP1	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,31
Pista 07	F31	III / IV	P7F31CP2	4h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,57
Pista 07	F33	III / IV	P7F33CP1	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,67
Pista 08	F30	II / III	P8F30CP1	4h	45°C	não	Ar Comprimido	120	0,68
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP1	4h	45°C	não	Ar Comprimido		0,76
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP2	4h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,60
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP3	4h	45°C	não	Ar Comprimido		0,93
Pista 08	F30	II / III	P8F30CP1	4h	45°C	não	Ar Comprimido	120	0,68
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP1	4h	45°C	não	Ar Comprimido		0,76
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP2	4h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,60
Pista 08	F32	II / III	P8F32CP3	4h	45°C	não	Ar Comprimido		0,93
Pista 15	F27	I / II	P15F27CP1	4h	25°C	não	Apicoamento	120	0,76
Pista 15	F27	I / II	P15F27CP2	4h	25°C	não	Apicoamento		0,75
Pista 15	F33	I / II	P15F33CP1	4h	25°C	não	Apicoamento		0,91
Pista 15	F33	I / II	P15F33CP2	4h	25°C	não	Apicoamento		0,88
Pista 15	F30	I / II	P15F30CP1	4h	25°C	não	Apicoamento	180	0,70
Pista 15	F36	I / II	P15F36CP1	4h	25°C	não	Apicoamento		0,95
Pista 15	F36	I / II	P15F36CP2	4h	25°C	não	Apicoamento		0,98
Pista 17	F27	I / II	P17F27CP1	4h	45°C	não	Apicoamento	120	0,89
Pista 17	F27	I / II	P17F27CP2	4h	45°C	não	Apicoamento		0,79
Pista 17	F33	I / II	P17F33CP1	4h	45°C	não	Apicoamento		0,48

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 17	F33	I / II	P17F33CP2	4h	45°C	não	Apicoamento	120	0,79
Pista 17	F30	I / II	P17F30CP1	4h	45°C	não	Apicoamento	180	0,97
Pista 17	F30	I / II	P17F30CP2	4h	45°C	não	Apicoamento		0,94
Pista 17	F36	I / II	P17F36CP1	4h	45°C	não	Apicoamento		1,43
Pista 17	F36	I / II	P17F36CP2	4h	45°C	não	Apicoamento		0,97

Tabela H.3 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 8h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 12	F30	II / III	P12F30CP1	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,96
Pista 12	F32	II / III	P12F32CP1	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,72
Pista 12	F34	II / III	P12F34CP1	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,42
Pista 12	F30	II / III	P12F30CP2	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,31
Pista 12	F32	II / III	P12F32CP2	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,82
Pista 12	F34	II / III	P12F34CP2	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,65
Pista 08	F29	III / IV	P8F29CP1	8h	45°C	não	Ar Comprimido	120	0,42
Pista 08	F29	III / IV	P8F29CP2	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,62
Pista 08	F31	III / IV	P8F31CP1	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,95
Pista 08	F31	III / IV	P8F31CP2	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,59
Pista 08	F33	III / IV	P8F33CP1	8h	45°C	não	Ar Comprimido	365	1,05
Pista 08	F33	III / IV	P8F33CP2	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,68
Pista 15	F32	II / III	P15F32CP1	8h	25°C	não	Apicoamento	120	0,74
Pista 15	F32	II / III	P15F32CP2	8h	25°C	não	Apicoamento		0,90
Pista 15	F35	II / III	P15F35CP1	8h	25°C	não	Apicoamento	180	1,34
Pista 15	F35	II / III	P15F35CP2	8h	25°C	não	Apicoamento		1,15
Pista 16	F35	II / III	P16F35CP1	8h	45°C	não	Apicoamento		1,36
Pista 16	F35	II / III	P16F35CP2	8h	45°C	não	Apicoamento		1,39

Tabela H.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 8h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 13	F29	III / IV	P13F29CP1	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,99
Pista 13	F31	III / IV	P13F31CP1	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,10
Pista 13	F33	III / IV	P13F33CP1	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,02
Pista 13	F29	III / IV	P13F29CP2	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,79
Pista 13	F31	III / IV	P13F31CP3	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,19
Pista 13	F33	III / IV	P13F33CP2	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,19
Pista 18	F27	I / II	P18F27CP1	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,92
Pista 18	F27	I / II	P18F27CP2	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,90
Pista 18	F33	I / II	P18F33CP1	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,76
Pista 18	F33	I / II	P18F33CP2	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,59
Pista 18	F30	I / II	P18F30CP1	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,67
Pista 18	F30	I / II	P18F30CP2	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		1,05
Pista 18	F36	I / II	P18F36CP1	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		1,33
Pista 18	F36	I / II	P18F36CP2	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,64
Pista 15	F26	II / III	P15F26CP1	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,80
Pista 15	F26	II / III	P15F26CP3	8h	25°C	sim	Apicoamento		0,70
Pista 15	F29	II / III	P15F29CP1	8h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,93
Pista 15	F29	II / III	P15F29CP2	8h	25°C	sim	Apicoamento		0,57
Pista 16	F29	II / III	P16F29CP1	8h	45°C	sim	Apicoamento		1,09

Tabela H.5 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 12h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 12	F29	III / IV	P12F29CP1	12h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,67
Pista 12	F31	III / IV	P12F31CP1	12h	25°C	não	Ar Comprimido		0,51
Pista 12	F33	III / IV	P12F33CP1	12h	25°C	não	Ar Comprimido		0,74
Pista 12	F29	III / IV	P12F29CP2	12h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,53
Pista 12	F31	III / IV	P12F31CP2	12h	25°C	não	Ar Comprimido		0,77
Pista 12	F33	III / IV	P12F33CP2	12h	25°C	não	Ar Comprimido		0,76
Pista 13	F30	II / III	P13F30CP1	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	0,80
Pista 13	F32	II / III	P13F32CP1	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,76
Pista 13	F34	II / III	P13F34CP1	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,74
Pista 13	F30	II / III	P13F30CP3	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,99
Pista 13	F32	II / III	P13F32CP2	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,65
Pista 13	F34	II / III	P13F34CP3	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,40
Pista 16	F34	III / IV	P16F34CP1	12h	25°C	não	Apicoamento	180	0,45
Pista 16	F34	III / IV	P16F34CP2	12h	25°C	não	Apicoamento		0,81

Tabela H.6 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 12h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 14	30	II / III	P14F30CP1	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1,08
Pista 14	32	II / III	P14F32CP1	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,05
Pista 14	34	II / III	P14F34CP1	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,85
Pista 14	30	II / III	P14F30CP2	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,90
Pista 14	32	II / III	P14F32CP2	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,02
Pista 14	34	II / III	P14F34CP2	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,16
Pista 18	F26	II / III	P18F26CP1	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1,20
Pista 18	F26	II / III	P18F26CP2	12h	45°C	sim	Ar Comprimido		1,31
Pista 18	F29	II / III	P18F29CP1	12h	45°C	sim	Ar Comprimido		1,11
Pista 18	F29	II / III	P18F29CP2	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1,21
Pista 16	F28	III / IV	P16F28CP1	12h	25°C	sim	Apicoamento		1,11
Pista 16	F28	III / IV	P16F28CP2	12h	25°C	sim	Apicoamento		0,90
Pista 18	F32	II / III	P18F32CP1	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	1,21
Pista 18	F32	II / III	P18F32CP2	12h	45°C	sim	Apicoamento		1,18
Pista 18	F35	II / III	P18F35CP1	12h	45°C	sim	Apicoamento		1,31
Pista 18	F35	II / III	P18F35CP2	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,74

Tabela H.7 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 24h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 14	F29	III / IV	P14F29CP1	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,99
Pista 14	F31	III / IV	P14F31CP1	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,99
Pista 14	F33	III / IV	P14F33CP1	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,16
Pista 14	F29	III / IV	P14F29CP2	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1,18
Pista 14	F31	III / IV	P14F31CP2	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,27
Pista 14	F33	III / IV	P14F33CP2	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,27
Pista 17	F25	III / IV	P17F25CP1	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1,28
Pista 17	F25	III / IV	P17F25CP2	24h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,98
Pista 17	F28	III / IV	P17F28CP1	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1,16
Pista 17	F28	III / IV	P17F28CP2	24h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,97
Pista 16	F30	I / II	P16F30CP1	24h	25°C	sim	Apicoamento		0,67
Pista 16	F30	I / II	P16F30CP2	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	1,03
Pista 16	F36	I / II	P16F36CP1	24h	25°C	sim	Apicoamento		1,03
Pista 16	F36	I / II	P16F36CP2	24h	25°C	sim	Apicoamento		1,13
Pista 17	F31	III / IV	P17F31CP1	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,81

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 17	F31	III / IV	P17F31CP2	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,87
Pista 17	F34	III / IV	P17F34CP1	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	1,21
Pista 17	F34	III / IV	P17F34CP2	24h	45°C	sim	Apicoamento		0,94

Tabela H.8 Resistência à Tração por Compressão Diametral com Intervalo de Lançamento de 48h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utiliz. Arg.	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Diam. (MPa)
Pista 15	F25	III / IV	P15F25CP1	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1,43
Pista 15	F25	III / IV	P15F25CP2	48h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,58
Pista 15	F28	III / IV	P15F28CP1	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1,26
Pista 15	F28	III / IV	P15F28CP2	48h	25°C	sim	Ar Comprimido		1,03
Pista 17	F26	II / III	P17F26CP1	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1,20
Pista 17	F26	II / III	P17F26CP2	48h	45°C	sim	Ar Comprimido		1,12
Pista 17	F29	II / III	P17F29CP1	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,67
Pista 17	F29	II / III	P17F29CP2	48h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,99
Pista 15	F31	III / IV	P15F31CP1	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	1,19
Pista 15	F31	III / IV	P15F31CP2	48h	25°C	sim	Apicoamento		0,56
Pista 15	F34	III / IV	P15F34CP1	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	1,73
Pista 15	F34	III / IV	P15F34CP2	48h	25°C	sim	Apicoamento		1,53
Pista 17	F32	II / III	P17F32CP1	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	1,17
Pista 17	F32	II / III	P17F32CP2	48h	45°C	sim	Apicoamento		0,98
Pista 17	F35	II / III	P17F35CP1	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,78
Pista 17	F35	II / III	P17F35CP2	48h	45°C	sim	Apicoamento		0,99

**ANEXO I – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
SIMPLES – NA JUNTA**

Nas Tabelas I.1 a I.8 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência à tração simples em função das variáveis, Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição da Junta, Utilização de Argamassa de ligação e Tipo de Tratamento da Junta, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos nas juntas entre camadas dos maciços experimentais.

Tabela I.1 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 0h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 04	1D	III / IV	P4F1DCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	0,42
Pista 04	2B	III / IV	P4F2BCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,29
Pista 04	5B	III / IV	P4F5BCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,21
Pista 04	8A	III / IV	P4F8ACP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,36
Pista 04	1 D	II / III	P4F1DCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,50
Pista 04	2C	II / III	P4F2CCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	0,19
Pista 04	5A	II / III	P4F5ACP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,25
Pista 04	6A	II / III	P4F6ACP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,49
Pista 04	6B	II / III	P4F6BCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,46
Pista 07	F23	II / III	P7F23CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,51
Pista 07	F24	II / III	P7F24CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,47
Pista 07	F25	II / III	P7F25CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,43
Pista 07	F27	II / III	P7F27CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido		0,46
Pista 07	F28	II / III	P7F28CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	0,23
Pista 18	F10	III / IV	P18F10CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	0,74
Pista 18	F11	III / IV	P18F11CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	0,59
Pista 18	F12	III / IV	P18F12CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	0,29
Pista 18	F19	III / IV	P18F19CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	0,52
Pista 18	F20	III / IV	P18F20CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento		0,59
Pista 18	F21	III / IV	P18F21CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	0,74
Pista 18	F22	III / IV	P18F22CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento		0,69
Pista 18	F7	III / IV	P18F7CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	0,64
Pista 18	F8	III / IV	P18F8CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento		0,65
Pista 18	F8	III / IV	P18F9CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	0,21
Pista 18	---	III / IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	120	0,86
Pista 18	---	III / IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento		1,06
Pista 18	---	III / IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	180	1,15

Tabela I.2 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 4h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 07	F28	III / IV	P7F28CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,27
Pista 35	F15	I / II	P35F15CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,54
Pista 35	F16	I / II	P35F16CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,64
Pista 35	F17	I / II	P35F17CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,50
Pista 35	F18	I / II	P35F18CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,38
Pista 35	F19	I / II	P35F19CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,59
Pista 35	F20	I / II	P35F20CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,57
Pista 35	F35	I / II	P35F35CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,53
Pista 35	F36	I / II	P35F36CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,42
Pista 35	F37	I / II	P35F37CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,59
Pista 35	F38	I / II	P35F38CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,43
Pista 35	F39	I / II	P35F39CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,49
Pista 35	F40	I / II	P35F40CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,51
Pista 35	F15	II / III	P35F15CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,49

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 35	F16	II / III	P35F16CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,28
Pista 35	F17	II / III	P35F17CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,53
Pista 35	F18	II / III	P35F18CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,44
Pista 35	F19	II / III	P35F19CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,50
Pista 35	F20	II / III	P35F20CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,14
Pista 35	F35	II / III	P35F35CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,49
Pista 35	F36	II / III	P35F36CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,67
Pista 35	F37	II / III	P35F37CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,50
Pista 35	F38	II / III	P35F38CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,51
Pista 35	F39	II / III	P35F39CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,48
Pista 35	F40	II / III	P35F40CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,52
Pista 35	F15	III / IV	P35F15CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,55
Pista 35	F16	III / IV	P35F16CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,61
Pista 35	F17	III / IV	P35F17CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,49
Pista 35	F18	III / IV	P35F18CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,54
Pista 35	F19	III / IV	P35F19CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,55
Pista 35	F20	III / IV	P35F20CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,58
Pista 35	F35	III / IV	P35F35CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,44
Pista 35	F36	III / IV	P35F36CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,70
Pista 35	F37	III / IV	P35F37CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido		0,66
Pista 35	F38	III / IV	P35F38CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	0,51	
Pista 35	F39	III / IV	P35F39CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	0,43	
Pista 35	F40	III / IV	P35F40CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	0,43	
Pista 08	F9	II / III	P8F9CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	0,45	
Pista 08	F12	II / III	P8F12CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,25
Pista 08	F23	II / III	P8F23CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	0,41	
Pista 08	F26	II / III	P8F26CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	365	0,51
Pista 08	F27	II / III	P8F27CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	0,36	
Pista 15	F19	I / II	P15F19CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	120	0,37
Pista 15	F20	I / II	P15F20CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	0,36	
Pista 15	F21	I / II	P15F21CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	0,50
Pista 15	F22	I / II	P15F22CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	0,36	
Pista 15	---	I / II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	90	0,74
Pista 15	---	I / II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	120	0,79
Pista 15	---	I / II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	180	0,98
Pista 17	F11	I / II	P17F11CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	0,55
Pista 17	F24	I / II	P17F24CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento		0,54
Pista 17	F9	I / II	P17F9CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento		0,34
Pista 17	---	I / II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	90	0,79
Pista 17	---	I / II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	120	0,99
Pista 17	---	I / II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	180	1,18

Tabela I.3 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 8h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 12	F12	II / III	P12F12CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,41
Pista 12	F13	II / III	P12F13CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,70
Pista 12	F17	II / III	P12F17CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,78
Pista 12	F19	II / III	P12F19CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,42
Pista 12	F25	II / III	P12F25CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,70
Pista 12	F15	II / III	P12F15CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	0,92
Pista 12	F18	II / III	P12F18CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,82
Pista 12	F21	II / III	P12F21CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,85
Pista 12	F26	II / III	P12F26CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido		0,63
Pista 12	---	II / III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	90	0,96
Pista 12	---	II / III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1,05
Pista 12	---	II / III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1,09
Pista 08	F4	III / IV	P8F4CP2	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	120	0,32
Pista 08	F5	III / IV	P8F5CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,31
Pista 08	F6	III / IV	P8F6CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,19
Pista 08	F15	III / IV	P8F15CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,47

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 08	F16	III / IV	P8F16CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,24
Pista 08	F17	III / IV	P8F17CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	365	0,48
Pista 08	F22	III / IV	P8F22CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido		0,34
Pista 15	F13	II / III	P15F13CP2	extraído	8h	25°C	não	Apicoamento	120	0,42
Pista 15	---	II / III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	90	0,66
Pista 15	---	II / III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	120	0,93
Pista 15	---	II / III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	180	1,07
Pista 16	---	II / III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	90	0,50
Pista 16	---	II / III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	120	0,60
Pista 16	---	II / III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	180	0,62

Tabela I.4 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 8h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 13	F20	III / IV	P13F20CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,57
Pista 13	F21	III / IV	P13F21CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,62
Pista 13	F25	III / IV	P13F25CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,57
Pista 13	F18	III / IV	P13F18CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,67
Pista 13	F19	III / IV	P13F19CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,59
Pista 13	F27	III / IV	P13F27CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,50
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	0,91
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1,03
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1,32
Pista 18	F10	I / II	P18F10CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,61
Pista 18	F11	I / II	P18F11CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,61
Pista 18	F19	I / II	P18F19CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,62
Pista 18	F20	I / II	P18F20CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,72
Pista 18	F21	I / II	P18F21CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,82
Pista 18	F24	I / II	P18F24CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,70
Pista 18	F7	I / II	P18F7CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,62
Pista 18	F8	I / II	P18F8CP2	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,76
Pista 18	F9	I / II	P18F9CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,85
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	0,34
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,40
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,79
Pista 15	F11	II / III	P15F11CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,42
Pista 15	F12	II / III	P15F12CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento		0,35
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	90	0,92
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,96
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	180	1,04
Pista 16	F12	II / III	P16F12CP2	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento		0,75
Pista 16	---	II / III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	90	0,62
Pista 16	---	II / III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,75
Pista 16	---	II / III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,80

Tabela I.5 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 12h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 12	---	III / IV	E-9613	moldado	12h	25°C	não	Ar Comprimido	90	0,64
Pista 12	---	III / IV	E-9613	moldado	12h	25°C	não	Ar Comprimido	120	0,87
Pista 13	F5	II / III	P13F5CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,37
Pista 13	F10	II / III	P13F10CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,66
Pista 13	F22	II / III	P13F22CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,51
Pista 13	F28	II / III	P13F28CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,64
Pista 13	F12	II / III	P13F12CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,86

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 13	F17	II / III	P13F17CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	0,55
Pista 13	F27	II / III	P13F27CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido		0,69
Pista 13	---	II / III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	90	0,96
Pista 13	---	II / III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	1,23
Pista 13	---	II / III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	1,30
Pista 16	F22	III / IV	P16F22CP1	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento		0,54
Pista 16	F23	III / IV	P16F23CP1	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	90	0,51
Pista 16	---	III / IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	120	0,61
Pista 16	---	III / IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	120	0,65
Pista 16	---	III / IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	180	0,89

Tabela I.6 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 12h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 14	F1	II / III	P14F1CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,74
Pista 14	F23	II / III	P14F23CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,64
Pista 14	F2	II / III	P14F2CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,46
Pista 14	F15	II / III	P14F15CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,79
Pista 14	F17	II / III	P14F17CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,73
Pista 14	F26	II / III	P14F26CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	0,74
Pista 14	---	II / III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	0,76
Pista 14	---	II / III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,80
Pista 14	---	II / III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1,13
Pista 18	F10	II / III	P18F10CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,72
Pista 18	F11	II / III	P18F11CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,67
Pista 18	F12	II / III	P18F12CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,80
Pista 18	F7	II / III	P18F7CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,57
Pista 18	F9	II / III	P18F9CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido		0,87
Pista 18	---	II / III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	0,80
Pista 18	---	II / III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,83
Pista 18	---	II / III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,95
Pista 16	F12	III / IV	P16F12CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	90	0,57
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	90	0,61
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,67
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,84
Pista 18	F20	II / III	P18F20CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,58
Pista 18	F21	II / III	P18F21CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento		0,68
Pista 18	F22	II / III	P18F22CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,71
Pista 18	F24	II / III	P18F24CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento		0,61
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	90	0,54
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,63
Pista 14	F1	II / III	P14F1CP2	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,95

Tabela I.7 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 24h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 08	F3	I / II	P8F3CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,56
Pista 08	F4	I / II	P8F4CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,49
Pista 08	F5	I / II	P8F5CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,62
Pista 08	F6	I / II	P8F6CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,54
Pista 08	F9	I / II	P8F9CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,59
Pista 08	F11	I / II	P8F11CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,62
Pista 08	F12	I / II	P8F12CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,67
Pista 08	F13	I / II	P8F13CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,39
Pista 08	F15	I / II	P8F15CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,50

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 08	F16	I / II	P8F16CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,63
Pista 08	F21	I / II	P8F21CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,47
Pista 08	F22	I / II	P8F22CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	365	0,51
Pista 08	F23	I / II	P8F23CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	365	0,47
Pista 08	F25	I / II	P8F25CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	365	0,76
Pista 08	F26	I / II	P8F26CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	365	0,49
Pista 08	F27	I / II	P8F27CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	365	0,50
Pista 12	F2	I / II	P12F2CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,61
Pista 12	F3	I / II	P12F3CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,53
Pista 12	F10	I / II	P12F10CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,50
Pista 12	F16	I / II	P12F16CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,67
Pista 12	F18	I / II	P12F18CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,58
Pista 12	F25	I / II	P12F25CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,76
Pista 12	F4	I / II	P12F4CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,91
Pista 12	F6	I / II	P12F6CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,58
Pista 12	F14	I / II	P12F14CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,57
Pista 12	F17	I / II	P12F17CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,86
Pista 12	F20	I / II	P12F20CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,85
Pista 12	F26	I / II	P12F26CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,58
Pista 14	F1	III / IV	P14F1CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,65
Pista 14	F3	III / IV	P14F23CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,64
Pista 14	F2	III / IV	P14F2CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,72
Pista 14	F11	III / IV	P14F11CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,79
Pista 14	F15	III / IV	P14F15CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,80
Pista 14	F24	III / IV	P14F24CP1	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,72
Pista 14	F13	I / II	P14F13CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,76
Pista 14	F1	I / II	P14F1CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,81
Pista 14	F2	I / II	P14F2CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,70
Pista 14	F5	I / II	P14F5CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,81
Pista 14	F8	I / II	P14F8CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,85
Pista 14	F11	I / II	P14F11CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,82
Pista 14	F15	I / II	P14F15CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,73
Pista 14	F3	I / II	P14F3CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,65
Pista 14	F4	I / II	P14F4CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,76
Pista 14	F6	I / II	P14F6CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,77
Pista 14	---	III / IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	0,95
Pista 14	---	III / IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,75
Pista 14	---	III / IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1,05
Pista 17	F10	III / IV	P17F10CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,64
Pista 17	F11	III / IV	P17F11CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,33
Pista 17	F12	III / IV	P17F12CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,78
Pista 17	F7	III / IV	P17F7CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,65
Pista 17	F8	III / IV	P17F8CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,67
Pista 17	F9	III / IV	P17F9CP1	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	0,74
Pista 17	---	III / IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	0,94
Pista 17	---	III / IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1,22
Pista 16	F12	I / II	P16F12CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,59
Pista 16	F21	I / II	P16F21CP2	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,55
Pista 16	F22	I / II	P16F22CP2	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,79
Pista 16	F24	I / II	P16F24CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,78
Pista 16	---	I / II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	90	0,82
Pista 16	---	I / II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,95
Pista 16	---	I / II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	1,03
Pista 17	F19	III / IV	P17F19CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,64
Pista 17	F20	III / IV	P17F20CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,54
Pista 17	F21	III / IV	P17F21CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,57
Pista 17	F22	III / IV	P17F22CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,35
Pista 17	F23	III / IV	P17F23CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,53
Pista 17	F24	III / IV	P17F24CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,68
Pista 17	---	III / IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	90	0,68
Pista 17	---	III / IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	0,85

Tabela I.8 Resistência à Tração Simples com Intervalo de Lançamento de 48h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tração Simpl. (MPa)
Pista 15	F10	III / IV	P15F10CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,56
Pista 15	F11	III / IV	P15F11CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,56
Pista 15	F7	III / IV	P15F7CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,64
Pista 15	F8	III / IV	P15F8CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido		0,76
Pista 15	F9	III / IV	P15F9CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,62
Pista 15	---	III / IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	0,92
Pista 15	---	III / IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	0,92
Pista 15	---	III / IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	0,97
Pista 17	F9	II / III	P17F9CP2	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	0,66
Pista 17	---	II / III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	0,68
Pista 17	---	II / III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1,00
Pista 17	---	II / III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1,04
Pista 15	F19	III / IV	P15F19CP1	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,65
Pista 15	F20	III / IV	P15F20CP1	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento		0,67
Pista 15	F21	III / IV	P15F21CP1	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento		0,59
Pista 15	F23	III / IV	P15F23CP1	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,56
Pista 15	F24	III / IV	P15F24CP1	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento		0,60
Pista 15	---	III / IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	90	0,68
Pista 15	---	III / IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	0,83
Pista 15	---	III / IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	0,92
Pista 17	F24	II / III	P17F24CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,36
Pista 17	---	II / III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	90	0,72
Pista 17	---	II / III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	0,97
Pista 17	---	II / III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	1,05

**ANEXO J – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DIRETO – NA JUNTA**

Nas Tabelas J.1 a J.8 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de resistência ao cisalhamento direto em função das variáveis, Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição da Junta, Utilização de Argamassa de ligação e Tipo de Tratamento da Junta, realizados em corpos-de-prova moldados e extraídos nas juntas entre camadas dos maciços experimentais.

Tabela J.1 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 0h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R²)
Pista 04	F1A	II/III	P4F1ACP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	897	777			
Pista 04	F1C	II/III	P4F1CCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	2218	3449			
Pista 04	F2D	II/III	P4F2DCP3	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	---	---			
Pista 04	F3A	II/III	P4F3ACP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	---	---			
Pista 04	F4A	II/III	P4F4ACP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	2664	3706			
Pista 04	F4B	II/III	P4F4BCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	---	---	938	47,7	0,961
Pista 04	F1A	III/IV	P4F1ACP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	889	1883			
Pista 04	F2D	III/IV	P4F2DCP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1335	3123			
Pista 04	F5A	III/IV	P4F5ACP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1778	3183			
Pista 04	F6A	III/IV	P4F6ACP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1337	2886			
Pista 04	F6B	III/IV	P4F6BCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	887	1710			
Pista 04	F7D	III/IV	P4F7DCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1778	3143			
Pista 07	F13	II/III	P7F13CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	900	2023			
Pista 07	F15	II/III	P7F15CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1800	3000	696	50,2	0,976
Pista 07	F17	II/III	P7F17CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	180	2700	3433			
Pista 07	F22	II/III	P7F22CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	900	1275			
Pista 07	F21	II/III	P7F21CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	1800	2236	320	47,1	0,992
Pista 07	F20	II/III	P7F20CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	365	2700	3219			
Pista 07	F3	II/III	P7F3CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	120	900	1875			
Pista 07	F4	II/III	P7F4CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1800	2790	1080	38,6	0,874
Pista 07	F6	II/III	P7F6CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2700	2812			
Pista 18	F13	III/IV	P18F13CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	900	1381			
Pista 18	F14	III/IV	P18F14CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2127	283	48,0	0,989
Pista 18	F15	III/IV	P18F15CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	3386			
Pista 18	F16	III/IV	P18F16CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1755			
Pista 18	F17	III/IV	P18F17CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2614	1013	41,0	0,999
Pista 18	F18	III/IV	P18F18CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3304			
Pista 18	F1	III/IV	P18F1CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	900	2212			
Pista 18	F2	III/IV	P18F2CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2455	1723	26,0	0,972
Pista 18	F3	III/IV	P18F3CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	3066			
Pista 18	F4	III/IV	P18F4CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1731			
Pista 18	F5	III/IV	P18F5CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2264	664	46,0	0,973
Pista 18	F6	III/IV	P18F6CP1	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3580			
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	90	900	2734	2512	13,4	0,996
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	90	1800	2926			
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	90	2700	3163			
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	120	900	3198			
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	3444	2457	35,0	0,947
Pista 18	---	III/IV	E-9903	moldado	0h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	4409			

Tabela J.2 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 4h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 07	F11	III/IV	P7F11CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	180	900	1532	542	42,5	0,963
Pista 07	F16	III/IV	P7F16CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1800	2348	542	42,5	0,963
Pista 07	F26	III/IV	P7F26CP1	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	180	2700	2615	542	42,5	0,963
Pista 35	F1	I/II	P35F1CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	880	1140	288	43,1	0,907
Pista 35	F2	I/II	P35F2CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1795	2155	288	43,1	0,907
Pista 35	F3	I/II	P35F3CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2652	1994	288	43,1	0,907
Pista 35	F4	I/II	P35F4CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	873	1227	288	43,1	0,907
Pista 35	F5	I/II	P35F5CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1771	1513	288	43,1	0,907
Pista 35	F7	I/II	P35F7CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2643	2679	288	43,1	0,907
Pista 35	F21	I/II	P35F21CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	888	902	288	43,1	0,907
Pista 35	F22	I/II	P35F22CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1774	1906	288	43,1	0,907
Pista 35	F23	I/II	P35F23CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2656	2908	288	43,1	0,907
Pista 35	F24	I/II	P35F24CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	880	1208	288	43,1	0,907
Pista 35	F25	I/II	P35F25CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1778	1719	288	43,1	0,907
Pista 35	F26	I/II	P35F26CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2652	2522	288	43,1	0,907
Pista 35	F1	II/III	P35F1CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	909	1625	590	35,3	0,633
Pista 35	F2	II/III	P35F2CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1775	1157	590	35,3	0,633
Pista 35	F3	II/III	P35F3CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2667	2848	590	35,3	0,633
Pista 35	F4	II/III	P35F4CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	892	1193	590	35,3	0,633
Pista 35	F5	II/III	P35F5CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1774	2880	590	35,3	0,633
Pista 35	F7	II/III	P35F7CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2646	1795	590	35,3	0,633
Pista 35	F21	II/III	P35F21CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	893	1133	590	35,3	0,633
Pista 35	F22	II/III	P35F22CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1751	1628	590	35,3	0,633
Pista 35	F23	II/III	P35F23CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2649	2028	590	35,3	0,633
Pista 35	F24	II/III	P35F24CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	878	979	590	35,3	0,633
Pista 35	F25	II/III	P35F25CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1754	2104	590	35,3	0,633
Pista 35	F27	II/III	P35F27CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2670	2403	590	35,3	0,633

Tabela J.2 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 4h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coessão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 35	F1	III/IV	P35F1CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	892	1188			
Pista 35	F2	III/IV	P35F2CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1775	1958			
Pista 35	F3	III/IV	P35F3CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2651	3801			
Pista 35	F4	III/IV	P35F4CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	892	1701			
Pista 35	F5	III/IV	P35F5CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1755	1655			
Pista 35	F6	III/IV	P35F6CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2656	2630	475	40,5	0,745
Pista 35	F21	III/IV	P35F21CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	888	1324			
Pista 35	F22	III/IV	P35F22CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1766	1562			
Pista 35	F23	III/IV	P35F23CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2644	2802			
Pista 35	F24	III/IV	P35F24CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	883	1573			
Pista 35	F25	III/IV	P35F25CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1771	1726			
Pista 35	F27	III/IV	P35F27CPI	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2670	2381			
Pista 08	F3	II/III	P8F3CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	120	900	1482			
Pista 08	F8	II/III	P8F8CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	120	1800	3000	553	49,2	0,972
Pista 08	F6	II/III	P8F6CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	120	2400	3150			
Pista 15	F13	I/II	P15F13CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	120	900	1546			
Pista 15	F14	I/II	P15F14CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2437	1056	34,0	0,960
Pista 15	F15	I/II	P15F15CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	2749			
Pista 15	F16	I/II	P15F16CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1675			
Pista 15	F17	I/II	P15F17CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2320	1086	34,0	0,999
Pista 15	F18	I/II	P15F18CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	2873			
Pista 15	F8	I/II	P15F8CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1926			
Pista 15	F9	I/II	P15F9CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2679	1392	34,0	0,986
Pista 15	F10	I/II	P15F10CP2	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3096			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	90	900	1848	867	47,0	0,999
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	90	1800	2731			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	90	2700	3724			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	120	900	2065			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2384	1154	40,3	0,899
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	3591			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1827			
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2461	957	42,0	0,992
Pista 15	---	I/II	E-9658	moldado	4h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3450			

Tabela J.2 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 4h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 17	F13	I/II	P17F13CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	900	1301			
Pista 17	F16	I/II	P17F16CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	1800	1814	249	46,0	0,970
Pista 17	F17	I/II	P17F17CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	2700	3136			
Pista 17	F20	I/II	P17F20CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	900	1565			
Pista 17	F21	I/II	P17F21CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	1800	2066	786	39,0	0,986
Pista 17	F23	I/II	P17F23CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	2700	3002			
Pista 17	F2	I/II	P17F2CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	900	1129			
Pista 17	F4	I/II	P17F4CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	1800	1902	206	45,0	0,997
Pista 17	F5	I/II	P17F5CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	120	2700	2900			
Pista 17	F6	I/II	P17F6CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	900	1295			
Pista 17	F7	I/II	P17F7CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	1800	2008	520	41,0	0,999
Pista 17	F8	I/II	P17F8CP2	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	180	2700	2829			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	90	900	1828			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	90	1800	2883	944	46,0	0,997
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	90	2700	3683			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	120	900	2233			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	120	1800	3114	1507	41,0	0,996
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	120	2700	3755			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	180	900	2638			
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	180	1800	2877	2093	28,0	0,962
Pista 17	---	I/II	E-9800	moldado	4h	45°C	não	Apicoamento	180	2700	3569			

Tabela J.3 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 8h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanc. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 12	F7	II/III	P12F7CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	900	1135			
Pista 12	F11	II/III	P12F11CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	1800	2686	587	41,5	0,772
Pista 12	F14	II/III	P12F14CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	180	2700	2732			
Pista 12	F2	II/III	P12F2CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	900	1569			
Pista 12	F4	II/III	P12F4CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1800	1814	632	41,0	0,932
Pista 12	F6	II/III	P12F6CP2	extraído	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2700	3094			
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	90	900	1590			
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	90	1800	2785	612,6	49,2	0,971
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	90	2700	3274			
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	900	2135			
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	1800	2913	1556,1	34,9	0,955
Pista 12	---	II/III	E-9260/J	moldado	8h	25°C	não	Ar Comprimido	120	2700	3368			
Pista 08	F7	III/IV	P8F7CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	900	1768			
Pista 08	F10	III/IV	P8F10CP2	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	1800	2523	1066	38,9	0,999
Pista 08	F11	III/IV	P8F11CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	180	2400	2954			
Pista 08	F19	III/IV	P8F19CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	365	900	1622			
Pista 08	F20	III/IV	P8F20CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	365	1800	2210	866	39,0	0,992
Pista 08	F18	III/IV	P8F18CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	365	2400	2835			
Pista 08	F1	III/IV	P8F1CP2	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	120	900	1751			
Pista 08	F2	III/IV	P8F2CP2	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	120	1800	2343	1217	31,5	1,000
Pista 08	F3	III/IV	P8F3CP1	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	120	2400	2648			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	90	900	1895			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	90	1800	2855	893	48,0	1,000
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	90	2700	3850			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	120	900	1584			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2673	345	53,0	0,999
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	4070			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	180	900	2584			
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	3305	2068	33,0	0,988
Pista 15	---	II/III	E-9660	moldado	8h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3715			
Pista 16	F13	II/III	P16F13CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	120	900	1193			
Pista 16	F14	II/III	P16F14CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	120	1800	2937	57	55,1	0,961
Pista 16	F16	II/III	P16F16CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	120	2700	3777			
Pista 16	F17	II/III	P16F17CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	180	900	1708			
Pista 16	F20	II/III	P16F20CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	180	1800	2280	937	39,0	0,995
Pista 16	F24	II/III	P16F24CP2	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	180	2700	3122			

Tabela J.3 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 8h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	90	900	1462			
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	90	1800	2874	780	44,0	0,935
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	90	2700	3170			
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	120	900	1645			
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	120	1800	2748	953	42,0	0,973
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	120	2700	3224			
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	180	900	2094			
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	180	1800	3026	1165	46,0	1,000
Pista 16	---	II/III	E-9696	moldado	8h	45°C	não	Apicoamento	180	2700	3944			

Tabela J.4 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 8h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 13	F22	III / IV	P13F22CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	900	1909			
Pista 13	F23	III / IV	P13F23CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	3417	1402	40,1	0,754
Pista 13	F24	III / IV	P13F24CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	3424			
Pista 13	F4	III / IV	P13F4CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1921			
Pista 13	F8	III / IV	P13F8CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2723	1138	42,0	0,999
Pista 13	F13	III / IV	P13F13CP1	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3494			
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	900	2250			
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	1800	2883	1477	40,0	0,997
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	2700	3715			
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2253			
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2971	1256	46,0	0,992
Pista 13	---	III / IV	E-9626	moldado	8h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	4056			
Pista 18	F13	I / II	P18F13CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2615			
Pista 18	F14	I / II	P18F14CP2	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	3013	2109	28,0	0,996
Pista 18	F15	I / II	P18F15CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3563			
Pista 18	F1	I / II	P18F1CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2530			
Pista 18	F2	I / II	P18F2CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2890	2039	33,0	0,998
Pista 18	F3	I / II	P18F3CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3592			
Pista 18	F4	I / II	P18F4CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2431			
Pista 18	F5	I / II	P18F5CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	3033	1373	47,0	0,989
Pista 18	F6	I / II	P18F6CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	3628			
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	900	1727			
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	1800	3080	1056	43,0	0,942
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	2700	3372			
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1756			
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	3937	929	52,0	0,896
Pista 18	---	I / II	E-9893	moldado	8h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	4085			
Pista 15	F1	II / III	P15F1CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	1822			
Pista 15	F3	II / III	P15F3CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2575	1158	37,0	0,998
Pista 15	F4	II / III	P15F4CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3158			
Pista 15	F5	II / III	P15F5CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	1602			
Pista 15	F8	II / III	P15F8CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	2222	806	40,0	0,995
Pista 15	F9	II / III	P15F9CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	180	2570	3028			
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	90	900	2052			
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	90	1800	3088	1322	42,0	0,985
Pista 15	---	II / III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	90	2700	3648			

Tabela J.4 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 8h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R²)
Pista 15	---	II/III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2515	1678	39,0	0,972
Pista 15	---	II/III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2936			
Pista 15	---	II/III	E-9659	moldado	8h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3966			
Pista 16	F1	II/III	P16F1CP2	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2308	1181	41,4	0,655
Pista 16	F2	II/III	P16F2CP2	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	2103			
Pista 16	F4	II/III	P16F4CP2	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	3896			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	90	900	2045	1221	44,0	0,998
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	90	1800	2990			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	90	2700	3742			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2353	1309	48,0	0,998
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	3244			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4347			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	2538	1683	46,0	0,992
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	3643			
Pista 16	---	II/III	E-9695	moldado	8h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	4358			

Tabela J.5 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 12h e sem Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coessão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 12	---	III/IV	E-9613	moldado	12h	25°C	não	Ar Comprimido	90	900	1518			
Pista 12	---	III/IV	E-9613	moldado	12h	25°C	não	Ar Comprimido	90	1800	2364	650	44,0	1,000
Pista 12	---	III/IV	E-9613	moldado	12h	25°C	não	Ar Comprimido	90	2700	3230			
Pista 13	F2	II/III	P13F2CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	900	1291			
Pista 13	F3	II/III	P13F3CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	1800	1864	376	43,0	0,985
Pista 13	F4	II/III	P13F4CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	2700	2947			
Pista 13	F6	II/III	P13F6CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	900	1439			
Pista 13	F7	II/III	P13F7CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	1800	2234	711	40,0	0,999
Pista 13	F8	II/III	P13F8CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	2700	2913			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	90	900	1380			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	90	1800	2347	668	41,0	0,989
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	90	2700	2920			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	900	1315			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	1800	2691	283	51,0	0,991
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	120	2700	3570			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	900	2134			
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	1800	2402	1310	38,0	0,926
Pista 13	---	II/III	E-9526/J	moldado	12h	45°C	não	Ar Comprimido	180	2500	3401			
Pista 16	F17	III/IV	P16F17CP1	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1257			
Pista 16	F18	III/IV	P16F18CP1	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2576	633	41,6	0,876
Pista 16	F19	III/IV	P16F19CP1	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	2853			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	90	900	1826			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	90	1800	2431	813	45,0	0,982
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	90	2700	3633			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	120	900	1701			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	120	1800	2530	911	42,0	1,000
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	120	2700	3287			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	180	900	1714			
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	180	1800	2692	705	48,0	1,000
Pista 16	---	III/IV	E-9698	moldado	12h	25°C	não	Apicoamento	180	2700	3710			

Tabela J.6 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 12h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 14	F8	II/III	P14F8CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	900	1855	1465	21,0	0,977
Pista 14	F10	II/III	P14F10CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	2066			
Pista 14	F11	II/III	P14F11CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	2541			
Pista 14	F3	II/III	P14F3CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1589	1226	36,6	0,622
Pista 14	F4	II/III	P14F4CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	3141			
Pista 14	F7	II/III	P14F7CP2	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	2910			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	900	1375	673	40,0	0,994
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	1800	2267			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	2700	2868			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2287	1633	37,0	1,000
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2982			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3611			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2275	1553	38,0	0,998
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	2888			
Pista 14	---	II/III	E-9609	moldado	12h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	3641			
Pista 18	F1	II/III	P18F1CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2647	2039	33,0	0,998
Pista 18	F2	II/III	P18F2CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	3155			
Pista 18	F3	II/III	P18F3CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3809			
Pista 18	F4	II/III	P18F4CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2269	1373	47,0	0,989
Pista 18	F5	II/III	P18F5CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	3485			
Pista 18	F6	II/III	P18F6CP2	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	4191			
Pista 18	---	II/III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2009	1125	46,0	0,997
Pista 18	---	II/III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	3033			
Pista 18	---	II/III	E-9902	moldado	12h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3826			
Pista 16	F1	III/IV	P16F1CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	1885	897	48,0	1,000
Pista 16	F2	III/IV	P16F2CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2911			
Pista 16	F5	III/IV	P16F5CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3872			
Pista 16	F6	III/IV	P16F6CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	1828	1194	39,0	0,980
Pista 16	F8	III/IV	P16F8CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	2797			
Pista 16	F9	III/IV	P16F9CP1	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	3264			
Pista 16	---	III/IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	90	900	2208	1216	46,0	0,990
Pista 16	---	III/IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	90	1800	2886			
Pista 16	---	III/IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	90	2700	4027			

Tabela J.6 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 12h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanc. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2671			
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	3498	1864	42,0	1,000
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	4271			
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2287			
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	3499	1189	51,0	0,998
Pista 16	---	III / IV	E-9697	moldado	12h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	4528			
Pista 18	F13	II / III	P18F13CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	1821			
Pista 18	F15	II / III	P18F15CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	3182	712	53,0	0,996
Pista 18	F16	II / III	P18F16CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4160			
Pista 18	F17	II / III	P18F17CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	1899			
Pista 18	F18	II / III	P18F18CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	3448	1106	48,0	0,950
Pista 18	F19	II / III	P18F19CP2	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	3868			
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	90	900	2046			
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	90	1800	3004	1106	47,0	1,000
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	90	2700	3929			
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2342			
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	2998	1090	51,0	0,976
Pista 18	---	II / III	E-9901	moldado	12h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4515			

Tabela J.7 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 24h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 12	F11	I/II	P12F11CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	900	1702	523	54,0	0,994
Pista 12	F12	I/II	P12F12CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1800	3200			
Pista 12	F13	I/II	P12F13CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	2700	4214			
Pista 12	F7	I/II	P12F7CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	900	1964	930	49,0	1,000
Pista 12	F8	I/II	P12F8CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1800	2954			
Pista 12	F9	I/II	P12F9CP2	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	2700	4004			
Pista 14	F6	III/IV	P14F6CPI	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	900	2481	1787	34,0	0,971
Pista 14	F10	III/IV	P14F10CPI	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	1800	2824			
Pista 14	F12	III/IV	P14F12CPI	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	180	2700	3676			
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	900	2298	1295	45,0	0,972
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	1800	2803			
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	90	2700	4053			
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	900	2315	1452	42,0	0,990
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1800	2905			
Pista 14	---	III/IV	E-9611	moldado	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	2700	3894			
Pista 17	F1	III/IV	P17F1CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	900	1425	575	46,0	0,990
Pista 17	F2	III/IV	P17F2CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1800	2585			
Pista 17	F3	III/IV	P17F3CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	2700	3280			
Pista 17	F4	III/IV	P17F4CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	900	1695	718	51,0	0,982
Pista 17	F5	III/IV	P17F5CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1800	3198			
Pista 17	F6	III/IV	P17F6CPI	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	2700	3943			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	900	2140	1555	36,0	0,988
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	1800	2955			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	90	2700	3428			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	900	2160	1130	51,0	0,995
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	1800	3442			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	120	2700	4348			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	900	2932	2083	39,0	0,956
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	1800	3269			
Pista 17	---	III/IV	E-9825	moldado	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	180	2700	4359			
Pista 16	F13	I/II	P16F13CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	900	2206	1432	40,0	0,999
Pista 16	F14	I/II	P16F14CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2901			
Pista 16	F15	I/II	P16F15CP2	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3705			

Tabela J.7 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 24h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 16	F16	I/II	P16F16CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2322			
Pista 16	F17	I/II	P16F17CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	3411	1725	39,0	0,960
Pista 16	F18	I/II	P16F18CP2	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	3769			
Pista 16	F1	I/II	P16F1CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2284			
Pista 16	F2	I/II	P16F2CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2634	1681	31,0	0,980
Pista 16	F5	I/II	P16F5CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3365			
Pista 16	F6	I/II	P16F6CP2	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2067			
Pista 16	F7	I/II	P16F7CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	2947	1155	45,0	1,000
Pista 16	F8	I/II	P16F8CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	3858			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	90	900	1907			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	90	1800	3250	378	58,0	0,999
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	90	2700	4836			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2337			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	3085	1187	50,0	0,988
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	4416			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2593			
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	3704	1605	49,0	0,999
Pista 16	---	I/II	E-9694	moldado	24h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	4617			
Pista 17	F13	III/IV	P17F13CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	1916			
Pista 17	F14	III/IV	P17F14CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	2798	1052	44,0	1,000
Pista 17	F15	III/IV	P17F15CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	3632			
Pista 17	F16	III/IV	P17F16CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	1942			
Pista 17	F17	III/IV	P17F17CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	2900	1092	45,0	0,999
Pista 17	F18	III/IV	P17F18CP1	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	3705			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	90	900	2314			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	90	1800	3641	1249	52,0	0,993
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	90	2700	4550			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2988			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	3586	2171	40,0	0,993
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4497			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	2322			
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	4033	1908	39,4	0,634
Pista 17	---	III/IV	E-9824	moldado	24h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	3799			

Tabela J.8 Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 48h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 15	F1	III/IV	P15F1CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1903	748	49,0	0,984
Pista 15	F2	III/IV	P15F2CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2630			
Pista 15	F3	III/IV	P15F3CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3973			
Pista 15	F4	III/IV	P15F4CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2319			
Pista 15	F5	III/IV	P15F5CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	3480	1555	44,0	0,979
Pista 15	F6	III/IV	P15F6CPI	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	4027			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	900	2100			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	1800	3177	1379	42,0	0,980
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	90	2700	3701			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	900	2157			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2933	1255	44,0	0,999
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3892			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2544			
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	3403	2148	29,6	0,867
Pista 15	---	III/IV	E-9662	moldado	48h	25°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	3568			
Pista 17	F1	II/III	P17F1CP2	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1974			
Pista 17	F2	II/III	P17F2CP2	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2357	1591	23,0	1,000
Pista 17	F3	II/III	P17F3CP2	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	2738			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	900	1638			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	1800	2628	1030	38,0	0,971
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	90	2700	3025			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	900	1941			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	1800	2819	1160	42,0	0,999
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	120	2700	3553			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	900	2134			
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	1800	2978	975	50,0	0,992
Pista 17	---	II/III	E-9802	moldado	48h	45°C	sim	Ar Comprimito	180	2700	4280			
Pista 15	F13	III/IV	P15F13CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2043			
Pista 15	F14	III/IV	P15F14CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	1800	2526	1340	36,0	0,989
Pista 15	F15	III/IV	P15F15CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	3348			
Pista 15	F16	III/IV	P15F16CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2003			
Pista 15	F17	III/IV	P15F17CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	2993	1518	34,2	0,886
Pista 15	F18	III/IV	P15F18CPI	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	3225			

Tabela J.8 (Continuação) Resistência ao Cisalhamento Direto com Intervalo de Lançamento de 48h e com Utilização de Argamassa de ligação – Corpos-de-prova moldados e extraídos.

Pista	Furo	Camada	Identificação do CP	Tipo do CP	Interv. Lanç. (h)	Temp. (°C)	Utilização de Argamassa	Tipo de Tratamento	Idade (dia)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Correlação (R ²)
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	90	900	2557	1841	38,0	0,998
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	90	1800	3172			
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	90	2700	3919			
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	900	2720	1743	38,6	0,720
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	2663			
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	120	2700	4157	1686	44,0	0,997
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	900	2578			
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	1800	3364			
Pista 15	---	III/IV	E-9661	moldado	48h	25°C	sim	Apicoamento	180	2700	4310			
Pista 17	F13	II/III	P17F13CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2185	1142	47,0	0,993
Pista 17	F14	II/III	P17F14CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	2948			
Pista 17	F15	II/III	P17F15CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4111			
Pista 17	F16	II/III	P17F16CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	2155	1648	33,0	0,976
Pista 17	F18	II/III	P17F18CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	2945			
Pista 17	F21	II/III	P17F21CP2	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	3292			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	90	900	2135	1486	41,0	0,964
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	90	1800	3259			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	90	2700	3661			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	900	2591	1804	41,0	1,000
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	1800	3320			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	120	2700	4115			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	900	2680	1555	49,0	0,987
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	1800	3412			
Pista 17	---	II/III	E-9801	moldado	48h	45°C	sim	Apicoamento	180	2700	4728			
Pista 15	F1	III/IV	P15F1CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	900	1903	748	49,0	0,984
Pista 15	F2	III/IV	P15F2CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	1800	2630			
Pista 15	F3	III/IV	P15F3CP1	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	120	2700	3973			

**ANEXO K – CONCRETO ENDURECIDO - RESULTADOS
INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE À
ÁGUA – NA JUNTA**

Na Tabela K.1 são apresentados o resultados individuais dos ensaios de permeabilidade à água em função das variáveis, Intervalo de Lançamento, Temperatura de Exposição da Junta, Utilização de Argamassa de ligação e Tipo de Tratamento da Junta, realizados em corpos-de-prova extraídos nas juntas entre camadas dos maciços experimentais. Todos os ensaios foram realizados com idade de 120 dias

Tabela K.1 Permeabilidade à Água - Corpos-de-prova extraídos – Idade de ensaio 120 dias .

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Permeabilidade (m/s)
Pista 04	F11F	II / III	P4F11FCP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	6,418E-10
Pista 04	F9F	II / III	P4F9FCP3	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	4,860E-10
Pista 04	F10E	III / IV	P4F10ECP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	2,494E-10
Pista 04	F11E	III / IV	P4F11ECP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	2,163E-08
Pista 04	F12E	III / IV	P4F12ECP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	2,863E-10
Pista 04	F9E	III / IV	P4F9ECP1	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	3,255E-10
Pista 07	F30	II / III	P7F30CP2	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	2,953E-10
Pista 07	F34	II / III	P7F34CP3	extraído	0h	25°C	não	Ar Comprimido	2,867E-10
Pista 18	F25	III / IV	P18F25CP3	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	1,788E-10
Pista 18	F28	III / IV	P18F28CP3	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	3,076E-10
Pista 18	F31	III / IV	P18F31CP2	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	3,863E-10
Pista 18	F34	III / IV	P18F34CP2	extraído	0h	25°C	não	Apicoamento	6,437E-10
Pista 07	F29	III / IV	P7F29CP2	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	5,938E-10
Pista 07	F31	III / IV	P7F31CP3	extraído	4h	25°C	não	Ar Comprimido	3,501E-10
Pista 08	F30	II / III	P8F30CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	1,973E-10
Pista 08	F30	II / III	P8F30CP3	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	1,436E-10
Pista 08	F34	II / III	P8F34CP2	extraído	4h	45°C	não	Ar Comprimido	1,382E-10
Pista 15	F27	I / II	P15F27CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	1,146E-09
Pista 15	F36	I / II	P15F36CP3	extraído	4h	25°C	não	Apicoamento	4,057E-10
Pista 17	F27	I / II	P17F27CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	1,101E-10
Pista 17	F30	I / II	P17F30CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	9,701E-11
Pista 17	F33	I / II	P17F33CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	1,206E-10
Pista 17	F36	I / II	P17F36CP3	extraído	4h	45°C	não	Apicoamento	2,058E-10
Pista 08	F29	III / IV	P8F29CP3	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	1,328E-10
Pista 08	F33	III / IV	P8F33CP3	extraído	8h	45°C	não	Ar Comprimido	9,217E-11
Pista 15	F32	II / III	P15F32CP3	extraído	8h	25°C	não	Apicoamento	4,600E-10
Pista 15	F35	II / III	P15F35CP3	extraído	8h	25°C	não	Apicoamento	4,235E-10
Pista 16	F32	II / III	P16F32CP3	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	1,819E-10
Pista 16	F35	II / III	P16F35CP3	extraído	8h	45°C	não	Apicoamento	7,201E-11
Pista 13	F29	III / IV	P13F29CP3	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	2,894E-10
Pista 13	F31	III / IV	P13F31CP2	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	2,433E-10
Pista 13	F33	III / IV	P13F33CP3	extraído	8h	25°C	sim	Ar Comprimido	1,705E-10
Pista 18	F27	I / II	P18F27CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	3,496E-10
Pista 18	F30	I / II	P18F30CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	1,818E-10
Pista 18	F33	I / II	P18F33CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	1,063E-10
Pista 18	F36	I / II	P18F36CP3	extraído	8h	45°C	sim	Ar Comprimido	3,521E-10
Pista 15	F26	II / III	P15F26CP2	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	4,987E-10
Pista 15	F29	II / III	P15F29CP3	extraído	8h	25°C	sim	Apicoamento	3,176E-10
Pista 16	F26	II / III	P16F26CP3	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento	2,378E-10
Pista 16	F29	II / III	P16F29CP2	extraído	8h	45°C	sim	Apicoamento	1,503E-10
Pista 12	F31	III / IV	P12F31CP3	extraído	12h	25°C	não	Ar Comprimido	5,570E-11
Pista 12	F33	III / IV	P12F33CP3	extraído	12h	25°C	não	Ar Comprimido	4,585E-11
Pista 13	F30	II / III	P13F30CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	3,043E-10
Pista 13	F32	II / III	P13F32CP3	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	1,585E-10
Pista 13	F34	II / III	P13F34CP2	extraído	12h	45°C	não	Ar Comprimido	1,649E-10
Pista 16	F31	III / IV	P16F31CP3	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	2,507E-10
Pista 16	F34	III / IV	P16F34CP3	extraído	12h	25°C	não	Apicoamento	4,631E-10
Pista 14	F30	II / III	P14F30CP3	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	1,074E-10
Pista 14	F32	II / III	P14F32CP3	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	5,747E-11
Pista 14	F34	II / III	P14F34CP3	extraído	12h	25°C	sim	Ar Comprimido	1,198E-10

Pista	Furo	Camada	Identif. do CP	Tipo do CP	Interv Lanç (h)	Temp (°C)	Utiliz Arg	Tipo de Tratamento	Permeabilidade (m/s)
Pista 18	F26	II / III	P18F26CP3	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	1,263E-10
Pista 18	F29	II / III	P18F29CP3	extraído	12h	45°C	sim	Ar Comprimido	1,695E-10
Pista 16	F25	III / IV	P16F25CP3	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	3,849E-10
Pista 16	F28	III / IV	P16F28CP3	extraído	12h	25°C	sim	Apicoamento	2,733E-10
Pista 18	F32	II / III	P18F32CP3	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	3,035E-10
Pista 18	F35	II / III	P18F35CP3	extraído	12h	45°C	sim	Apicoamento	2,448E-10
Pista 14	F29	III / IV	P14F29CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	7,146E-11
Pista 14	F31	III / IV	P14F31CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	7,918E-11
Pista 14	F33	III / IV	P14F33CP3	extraído	24h	25°C	sim	Ar Comprimido	8,110E-11
Pista 17	F25	III / IV	P17F25CP3	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	2,518E-10
Pista 17	F28	III / IV	P17F28CP3	extraído	24h	45°C	sim	Ar Comprimido	5,668E-11
Pista 16	F27	I / II	P16F27CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	3,111E-10
Pista 16	F30	I / II	P16F30CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	1,410E-10
Pista 16	F33	I / II	P16F33CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	1,203E-10
Pista 16	F36	I / II	P16F36CP3	extraído	24h	25°C	sim	Apicoamento	3,580E-11
Pista 17	F31	III / IV	P17F31CP3	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	5,493E-11
Pista 17	F34	III / IV	P17F34CP3	extraído	24h	45°C	sim	Apicoamento	7,646E-11
Pista 15	F25	III / IV	P15F25CP3	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	3,604E-10
Pista 15	F28	III / IV	P15F28CP3	extraído	48h	25°C	sim	Ar Comprimido	3,304E-10
Pista 17	F26	II / III	P17F26CP3	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	7,553E-11
Pista 17	F29	II / III	P17F29CP3	extraído	48h	45°C	sim	Ar Comprimido	7,647E-11
Pista 15	F31	III / IV	P15F31CP3	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	3,306E-10
Pista 15	F34	III / IV	P15F34CP3	extraído	48h	25°C	sim	Apicoamento	3,109E-10
Pista 17	F32	II / III	P17F32CP3	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	1,055E-10
Pista 17	F35	II / III	P17F35CP3	extraído	48h	45°C	sim	Apicoamento	8,505E-11