DANIELLE ZAMBOTTO

**ESTUDO PRELIMINAR DOS EFEITOS DA
REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO NAS RESPOSTAS ESTRUTURAIS DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO**

SÃO PAULO

2014

DANIELLE ZAMBOTTO

Engenheira Civil, Universidade Camilo Castelo Branco

**ESTUDO PRELIMINAR DOS EFEITOS DA
REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO NAS RESPOSTAS ESTRUTURAIS DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração: Engenharia de
Transportes – Subárea de Infraestrutura
de Transportes

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Balbo

SÃO PAULO

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Zambotto, Danielle

Estudo preliminar dos efeitos da reação álcali-agregado nas respostas estruturais de pavimentos de concreto / D. Zambotto.

-- São Paulo, 2014.

144 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

**1.Pavimentação de concreto 2.Resistência dos materiais
3.Agregados I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transportes II.t.**

*Às minhas filhas Gabrielle,
Carolline e
Maria Clara
meu marido Cristiano e aos meus
Pais Nancy e Homero,*

*com muito
carinho.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Tadeu Balbo, por ter aceitado meu projeto tão prontamente, pelo apoio, acompanhamento, incentivo, sugestões e comentários ao longo desta pesquisa.

Um agradecimento especial ao Eng.^o Flávio Caseres, que me proporcionou a oportunidade da realização deste meu trabalho, dando subsídios para o seu desenvolvimento.

À IEME do BRASIL pela valiosa contribuição.

À INFRAERO que incentivou e incentiva a todos interessados no desenvolvimento tecnológico do nosso país e contribuiu com a cessão oficial de documentos e informações sobre o Aeroporto Internacional governador André Franco Montoro para o desenvolvimento deste projeto

À Eletrobrás – FURNAS, pelo apoio e realização dos ensaios de laboratório essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, gratidão eterna.

A Eng.^a Nicole Hasparyk, de FURNAS, que sem ao menos conhecer-me pessoalmente teve a gentileza de colaborar com o desenvolvimento de meu trabalho, com o fornecimento de material para revisão.

Ao Eng.^o Joaquim Rodrigues da Empresa Rogertec Brasil, que com prontidão contribuiu com o fornecimento de material bibliográfico para o enriquecimento desta pesquisa.

À MHS Engenharia pelo apoio contribuindo com a realização das sondagens rotativas.

Aos amigos Odair de Oliveira Rosa, Rosana Maria Maldi, Karen Priell e Virgínia Becker, companheiros desta etapa da vida, com quem dividi meus problemas, as alegrias, e com quem os laços de afeto foram estreitados nestes últimos anos.

Um agradecimento especial aos amigos Kendi Sanbonsuge e Yuri Irente pela paciência e ajuda para o desenvolvimento do meu trabalho, me ajudaram muito mesmo.

A toda minha família que sempre mantiveram o pensamento positivo presente durante todos estes anos, que me incentivaram e apoiaram para que eu pudesse prosseguir e alcançar a vitória de trabalho concluído.

À minha tia e madrinha que está presente em todos os momentos da minha vida.

As minhas filhas que são a luz da minha vida, as quais sem perceber, foram os motivos desta minha vitória.

Ao meu marido Cristiano que sempre ficou ao meu lado dando apoio e incentivo.

A Deus e às Deusas, que me acompanharam em todos os momentos.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

Danielle.

RESUMO

A pesquisa busca reconhecer a ocorrência de alterações nas respostas mecânico / estruturais de placas de concreto na presença da reação álcali-agregado.

A análise da parte experimental é realizada a partir dos estudos de caso do Aeroporto Internacional – Gov. André Franco Montoro – Cumbica / Guarulhos e também da Pista Experimental da Universidade de São Paulo – USP.

Desde 1997, foram observadas na região do Terminal de Cargas patologias no pavimento de concreto e em 2002 as mesmas patologias foram também observadas nos pavimentos dos terminais de passageiros. A mais importante, foi a expansão horizontal do piso de concreto que danificou diversas estruturas adjacentes, desaprumou postes de iluminação e descentralizou os bocais de abastecimento de aeronaves instalados em pequenos poços no piso.

Essas patologias motivaram a Infraero a realizar uma extensa campanha de investigação. Foi apresentada neste trabalho toda a metodologia de investigação adotada, que inclui sondagens, retirada de amostras do concreto, ruptura de corpos de prova, microscopia, difração, investigação geofísica e levantamento deflectométrico, bem como os principais resultados que detectaram a presença de reação álcalis-agregado.

Também foram realizados, para a pista experimental da USP/FAPESP, construída em 1999, ensaios para a detecção da reação álcali-agregado e os efeitos nas respostas estruturais devido a esta patologia.

Os ensaios realizados comprovaram a existência da reação álcali-agregado e demonstraram uma queda considerável quanto aos valores de módulo de elasticidade e também de resistência das amostras ensaiadas, o que leva a acreditar que realmente esta patologia interfere no comportamento estrutural do pavimento.

ABSTRACT

This research work aimed to verify alterations on mechanical and structural responses of concrete slabs for paving when silica-alkalis reaction (SAR) has evolved within concrete microstructure. Two case studies support the experimental analysis: the International Airport of São Paulo at Guarulhos/Cumbica (pavements built since 1983) and the Experimental Concrete Pavement Sections at University of São Paulo (USP) Campus at São Paulo (built in 1999).

Since 1997 it were observed SAR visual patterns (map cracks) at the airport freight apron and in 2002 again for the passenger's aprons. Remarkably, it was verified horizontal displacements of slabs damaging the neighborhood structures (gutters, sidewalks and the terminal building piles), altering the lamppost bobs and moving the fuel pits points installed underneath the concrete slabs.

Such a kind of abnormal behavior motivated the Airport operator company to perform an in deep forensic investigation. The methodology and steps for such investigation, including drilling samples, mechanical tests on samples, diffraction microscopy analysis, geophysics tests and falling weight deflectometer tests, which allowed to disclose the SAR occurrences. Some of the aforementioned tests were also performed for some of the Experimental Concrete Pavement Sections at USP since map cracks were observed since 2006.

All the tests confirmed the SAR occurrences at both locations and results shown important loses for both concrete modulus of elasticity as well as for strengths, permitting to infer that such kind of microstructural pathology interferes on the mechanical behavior of the concrete pavements.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	19
1.1 Motivações e justificativas	22
1.2 Objetivos.....	22
1.3 Organização do trabalho.....	23
2. REVISÃO DA LITERATURA – REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA).....	24
2.1 Definição e aspectos gerais.....	24
2.2 Mecanismos da expansão	26
2.3 Tipos de reação álcali-agregado.....	29
2.3.1 Reação Álcali-Sílica	30
2.3.2 Reação Álcali-Silicato.....	32
2.3.3 Reação Álcali-Carbonato	33
2.4 Reatividade potencial álcali-agregado	34
2.4.1 Generalidades	34
2.5 Métodos de investigação da RAA.....	37
2.6 Fatores intervenientes para ocorrência da RAA	39
2.7 Condições ambientais	40
2.8 Alternativas para prevenir a RAA.....	41
2.9 A RAA em pavimentos de concreto	43
3. ESTUDOS DE CASO: PAVIMENTOS DE CONCRETO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO - GUARULHOS E DA PISTA EXPERIMENTAL DA USP/FAPESP	47
3.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos	47
3.1.1 Ensaios mecânicos sobre as amostras extraídas	51
Sondagens a Percussão (SPT)	51

Retirada das Amostras de Concreto	51
Levantamento das Possíveis Deformações nos Querodutos	51
3.1.2 Avaliação da ocorrência da RAA	52
3.1.2.1 Ensaios mecânicos sobre as amostras extraídas	52
3.1.2.2 Determinação das deflexões elásticas sobre as placas	53
3.1.3 Instrumentação	54
3.1.3.1 Medidores de Nível D'Água	54
3.2 Pista experimental da USP / FAPESP	56
3.2.1 Investigações posteriores sobre a Pista Experimental	58
3.2.2 Dados experimentais	58
3.2.3 Metodologia de Análise	59
3.2.4 Modelos para retroanálise de parâmetros de pavimento de concreto	59
3.2.5 Análise de LTE em juntas	60
4. MATERIAIS E MÉTODOS	62
4.1 Detecção da RAA na Pista Experimental da USP	62
4.1.1 Extração dos Corpos de Prova	62
4.1.2 Programa Experimental	64
4.1.2.1 Determinação das Características e Propriedades do Concreto	66
4.1.2.2 Microscopia Ótica de Luz Transmitida	67
4.1.2.3 Microscopia Ótica de Luz Refletida	67
4.1.2.4 Difratometria de Raios X	67
4.1.2.5 Análise Química	67
4.1.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	68
4.2 Retroanálise dos ensaios realizados no Aeroporto	68
4.3 Determinação dos parâmetros do concreto	68
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROGRAMA	

EXPERIMENTAL.....	70
5.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos	70
5.1.1 Estudo de RAA.....	76
5.1.2 Medidas de deflexões sob carga de impacto	81
5.1.3 Determinação dos Parâmetros para Subleito e Pavimento.....	87
5.1.4 Eficiência da Transferência de Carga (LTE)	93
5.2 Pista Experimental da USP.....	100
5.2.1 Determinação das Características e Propriedades do Concreto.....	101
5.2.2 Microscopia Ótica de Luz Transmitida	102
5.2.3 Microscopia Ótica de Luz Refletida.....	103
5.2.4 Difratometria de Raios X	104
5.2.5 Análise química.....	108
5.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	108
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	112
6.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos	112
6.2 Pista experimental da USP/ FAPESP	114
6.3 Recomendações para estudos futuros	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXO A - LOCAÇÃO DAS SONDAGENS A PERCUSSÃO E AMOSTRAS DE CONCRETO	124
ANEXO B – LOCAÇÃO DOS PIT’S DE ABASTECIMENTO	126
ANEXO C – LOCAÇÃO DOS PONTOS DE INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA (GPR).128	
ANEXO D – MEDIDORES DE NÍVEL D’ÁGUA	130
ANEXO E – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO REMOTO 2	132
ANEXO F – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO REMOTO 1	134
ANEXO G – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TPS-2.....	136

ANEXO H – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TPS-1	138
ANEXO I – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TERMINAL DE CARGAS (TECA)	140
ANEXO J – PROCESSO DE AUTORIZAÇÃO DA INFRAERO PARA USO DE MATERIAL TÉCNICO	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fissuras em mapa – Barragem de Furnas – vista lateral do pilar do vertedouro no sentido montante e jusante (Furnas, 1997).....	21
Figura 2 - Barragem de Porto Colômbia – detalhe do topo de um dos pilares do vertedouro com fissuração tipo mapa e deslocamento nas bordas (Furnas, 1997)	21
Figura 3 – As figuras (a) e (b) apresentam os aspectos micromecânicos da RAA.....	25
Figura 4 - idealizado para representar a indução de fissuras (Fonte: Hobbs, 1988) .	27
Figura 5 – Resumo do processo da Reação Álcali-Agregado (Adaptado de: Ferraris,2000).....	28
Figura 6 - Estrutura tetraédrica da sílica (Fonte: Van Vlack, 1984)	30
Figura 7 - Neutralização das ligações do grupo silanol pelas Hidroxilas (Fonte: Turriziani, 1986)	31
Figura 8 - Ruptura das ligações do grupo siloxano pelos íons hidroxilas (Fonte: Turriziani, 1986)	32
Figura 9 - Pavimento danificado – Terminal de Cargas (IEME Brasil, 2004).....	49
Figura 10 – As Figuras (a) e (b) mostram as condições das canaletas de drenagem próximo ao pavimento da Via de Serviço operacional do Pátio de Aeronaves (IEME Brasil, 2004)	49
Figura 11 - Trincas na face interna dos pilares das marquises (IEME Brasil, 2004) .	50
Figura 12 - Áreas de atuação do equipamento Deflectômetro de Impacto “FWD” (IEME Brasil, 2004)	53
Figura 13 - Medidor de nível d água (IEME Brasil, 2004).....	55
Figura 14 - Seções em planta da Pista Experimental da USP (adaptado de SEVERI, 2002)	57
Figura 15 - Seções em corte da Pista Experimental da USP (adaptado de Colim, 2006)	58
Figura 16 - Placas para extração de corpos de prova, adaptado de Colim (2006)....	63

Figura 17 - (a) Placas 01 (C2) e 02 (C3), (b) Placa 03 (E3), (c) e (d) Trincas em forma de mapas.	63
Figura 18 – Extração de amostras (a) e (b) Posicionamento extratora, (c) e (d) Remoção da amostra.	64
Figura 19 – Evolução das trincas em forma de mapa, características da RAA.	66
Figura 20 - Primeiros testemunhos levados para realização da MEV (a) SP 01 e (b) SP 04	78
Figura 21 - Primeiros testemunhos levados para realização da MEV (a) SP 04 e (b) SP 14	78
Figura 22 - Amostra com superfície de fratura extraídas do testemunho de concreto SP 01 (IEME Brasil, 2004)	79
Figura 23 – Micrografia - Aspecto do concreto (SP11): Observam-se dois poros preenchidos, um deles parcialmente preenchido por cristais e o outro totalmente por material branco (gel)	79
Figura 24 – Micrografia - Aspecto da porosidade dos concretos observada ao microscópio estereoscópico: A – agregado graúdo, MB – material branco (Fonte: IEME Brasil, 2004)	80
Figura 25 – Micrografia - Aspecto do concreto ao microscópio de luz transmitida, no qual se observa a deposição gel no contorno do agregado graúdo (A). (P) – poro (IEME Brasil, 2004)	80
Figura 26 – Micrografia - Formação de produtos cristalizados da reação álcali-agregado com forma de rosáceas ou tufos de material cristalizado (AA) – QZ – grão de quartzo (IEME Brasil, 2004)	81
Figura 27 – Micrografia - Formação de produtos cristalizados da reação álcali-agregado com forma de cristais fibrosos (AA) que se desenvolvem sobre o agregado (IEME Brasil, 2004)	81
Figura 28 - (A) Calcário preto formado por calcita de aspecto turvo, provavelmente devido à presença de impregnações de matéria orgânica (1), cortado por veios de calcita de aspecto límpido (setas)(Fonte: FURNAS, 2013)	102

Figura 29 – (B) Calcário branco de granulação grossa formado por grandes cristais geminados de calcita (1) com interstícios ocupados por calcita e quartzo (qz) de granulação fina. (Fonte: FURNAS, 2013).....	102
Figura 30– (C) e (D) Agregado miúdo representado por quartzo (1) e feldspato (2) em partículas irregulares; poro circular com material fibroso (3). Contato da argamassa com o agregado graúdo (4) e o agregado miúdo sem aparente reação. (Fonte: FURNAS, 2013)	103
Figura 31 – Fotomicrografia – Piritas (Py) sãs. (Fonte: FURNAS, 2013)	103
Figura 32 - Fotomicrografia – Cristais de Pirita (Py) sã. (Fonte: FURNAS, 2013)...	104
Figura 33 – (a) e (b) Difractogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 01 (Fonte: FURNAS, 2013).....	105
Figura 34 – (a) e (b) Difractogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 02 (Fonte: FURNAS, 2013).....	106
Figura 35– (a) e (b) Difractogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 03 (Fonte: FURNAS, 2013).....	107
Figura 36– (a) Aos 11 dias de expansão, o agregado apresentou-se com comportamento reativo, resultando 0,19% na média das expansões, (b) Aos 30 dias de expansão, passou para 0,60%. (Fonte: FURNAS, 2013)	109
Figura 37– Poro totalmente preenchido por etringita massiva (Fonte: FURNAS, 2013)	109
Figura 38 – Cristais neoformados depositados sobre o agregado (Fonte: FURNAS, 2013)	109
Figura 39 – Poro com gel maciço gretado (Fonte: FURNAS, 2013).....	110
Figura 40– Poros próximos sendo um deles com deposições de etringita (E) e outro com gel (G) (Fonte: FURNAS, 2013)	110
Figura 41 – Poro contendo produtos típicos da RAA (Fonte: FURNAS, 2013)	110
Figura 42– Gel maciço gretado da RAA (Fonte: FURNAS, 2013).....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Natureza da rocha, tipo de agregado e fases mineralógicas (Fonte: Hasparyk, 1999)	36
Tabela 2.2 – Métodos Investigatórios, normas e premissas para investigação da RAA 38	
Tabela 2.3 – Fatores influentes para a ocorrência da RAA.....	40
Tabela 2.4 – Condições Ambientais para ocorrência da RAA.....	41
Tabela 2.5 – Alternativas para controle da RAA.....	42
Tabela 3. 1 – Medidores de nível d água instalados (IEME Brasil, 2004)	54
Tabela 3.2 – Características do Concreto utilizado na Pista Experimental da USP (Severi, 2002).....	56
Tabela 3.3 – Características das seções experimentais do pavimento de concreto na USP (Severi, 2002)	57
Tabela 5.1 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição Remota 2	71
Tabela 5.2 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TPS-2.....	72
Tabela 5.3 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TPS-1	72
Tabela 5.4 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição Remota 1	72
Tabela 5.5 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TECA (Terminal de Cargas).....	72
Tabela 5.6 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)	74
Tabela 5.7 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)	75
Tabela 5.8 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)	76

Tabela 5.9 – Resumo dos resultados obtidos durante a realização dos ensaios (IEME Brasil, 2004).	77
Tabela 5.10 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio do TPS-1 (IEME Brasil, 2004)	83
Tabela 5.11 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 Pátio do TPS-2 (IEME Brasil, 2004).	84
Tabela 5.12 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio Remoto 1 (IEME Brasil, 2004)	85
Tabela 5.13 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio Remoto 2 (IEME Brasil, 2004)	86
Tabela 5.14 – Levantamento Deflectométrico – Terminal de Carga (IEME Brasil, 2004).	87
Tabela 5.15 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Terminal de Cargas – TECA.	88
Tabela 5.16 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio do TPS-1.	89
Tabela 5.17 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio do TPS-2.	90
Tabela 5.18 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio Remoto 1.	91
Tabela 5.19 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio Remoto 2.	92
Tabela 5.20 – Determinação da LTE para o Pátio do Terminal de Cargas – TECA.	94
Tabela 5.21 – Determinação da LTE para o Pátio do TPS-1	95
Tabela 5.22 – Determinação da LTE para o Pátio do TPS-2.	96
Tabela 5.23 – Determinação da LTE para o Pátio Remoto 1	97
Tabela 5.24 – Determinação da LTE para o Pátio Remoto 2.	98
Tabela 5.25 – Média dos valores de E para o Pátio do TECA.	99
Tabela 5.26 – Média dos valores de E para o Pátio do TPS 1.	99

Tabela 5.27 – Média dos valores de E para o Pátio do TPS 2.	99
Tabela 5.28 – Média dos valores de E para o Pátio Remoto 1.	100
Tabela 5.28 – Média dos valores de E para o Pátio Remoto 2	100
Tabela 5.29 – Determinação das Resistências e dos Módulos de Elasticidade do Concreto (Fonte: FURNAS, 2013).	101
Tabela 5.30 – Principais constituintes mineralógicos (Fonte: FURNAS, 2013).	104
Tabela 5.31 – Teor de Enxofre (%) total, na forma de sulfetos e de sulfatos (Fonte: FURNAS, 2013)	108

NOTAÇÕES QUÍMICAS

Notação da química do cimento – componentes do cimento e principais produtos da reação (HASPARYK, 1999).

A = Al_2O_3 ; C = CaO ; C = CO_2 ; F = Fe_2O_3 ; H = H_2O ; K = K_2O ; M = MgO ; N = Na_2O ; S = SiO_2 ; S = SO_3 .

C_3S	silicato tricálcico
C_2	silicato dicálcico
C_3A	aluminato tricálcico
C_4AF	ferroaluminato tetracálcico – ferrita
CaCO_3	carbonato de cálcio
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	carbonato de cálcio e magnésio – dolomita
CH ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$	hidróxido de cálcio – portlandita
C-S-H	silicato de cálcio hidratado
H_2SiO_4	ácido ortosilícico
KOH	hidróxido de potássio
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	hidróxido de magnésio – brucita
NaOH	hidróxido de sódio
SiOH	grupo silanol
SiO_2	sílica
$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	sílica hidratada – opala

ABREVIATURAS

ad	Água Adicional
a/c	Relação água/cimento
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
cp	Corpo de prova
CCR	Concreto Compactado com Rolo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
fc	Resistência à Compressão
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
LTE	Eficiência de Transferência de Carga entre Juntas
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
RAA	Reação Álcali-Agregado
RAS	Reação Álcali-Sílica
TECA	Terminal de Cargas
TPS	Terminal de Passageiros

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As estruturas de concreto em geral e as construções de grande porte, como as barragens, são objetos de pesquisas cada vez mais avançadas, visando principalmente as questões de segurança e durabilidade. A vida útil de qualquer empreendimento está intimamente ligada às decisões de projeto, de execução e do controle de qualidade de obra. Estudos devem ser desenvolvidos de maneira a se evitar o surgimento de patologias.

Dentre as várias causas de deterioração do concreto, encontra-se a Reação Álcali Agregado (RAA). Este fenômeno tem sido motivo de investigações, buscando entender o mecanismo de reação e os fatores que a influenciam, bem como soluções seguras e viáveis para a recuperação de estruturas que apresentam os seus sintomas. Este trabalho busca um maior entendimento quanto aos efeitos estruturais causados pela RAA nas estruturas de pavimentos em concreto simples, também suscetíveis ao surgimento desta patologia.

A RAA é um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo sílica, agregados reativos e água. Como resultado desta reação formam-se produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, criar fissuras e ocasionar deslocamentos nas estruturas de concreto. Tais consequências podem comprometer o funcionamento das estruturas atingidas (HASPARYK, 1999).

A grande motivação e importância de se estudar os efeitos estruturais da RAA em pavimentos de concreto é verificar a sua influência na vida útil da estrutura devido a alteração em parâmetros como sua resistência, módulo de elasticidade do concreto, bem como o comprometimento na transferência de carga entre juntas (LTE- *Load Transfer Efficiency*) por fim, estudar métodos mais apropriados para reparação dos prováveis defeitos que venham a ocorrer.

Embora este fenômeno esteja em maior evidência na atualidade, os registros de suas primeiras manifestações, conforme diversas publicações (BICZOK, 1972; METHA, 1986) datam de 1940, quando foi deduzido que a reação entre

determinados componentes do agregado e os hidróxidos alcalinos no cimento, liberados na hidratação, era a causa primária de fissuras e expansões em algumas estruturas de concreto na Califórnia.

Ensaio experimentais comprovaram que esta reação levava à formação de eflorescências brancas e provocava intensas fissurações nas amostras, similares àquelas observadas nas estruturas de concreto deterioradas. A RAA foi detectada em diversos países, particularmente nas áreas úmidas do concreto, sendo as estruturas deterioradas dos mais variados tipos: barragens, pontes, pavimentos, quebra-mares, píeres, fundações de concreto em subestações elétricas e fundações de edifícios.

A primeira publicação de um estudo realizado no Brasil sobre a RAA foi com Gitahy (1963) quando realizava investigações sobre os agregados disponíveis na época da construção da Barragem de Jupia. Após os ensaios laboratoriais, percebeu-se a presença de materiais reativos, e não havendo possibilidade do uso de outros agregados, foram tomadas medidas preventivas, inicialmente através da limitação do teor de alcalinidade do concreto e posteriormente com o uso de até 35% de pozolana em substituição parcial do cimento Portland (PAULON,1981).

Kihara e Scanduzzi (1993) verificaram por uma progressividade no aumento dos casos brasileiros relatados nos 10 últimos anos. Algumas das evidências da presença da RAA citadas por Hobbs (1988) foram as fissurações em forma de mapa em concretos sem armadura; fissurações orientadas em concreto armado; descoloração visível ao longo da borda das macro fissuras; exsudação de gel e expansão de concreto.

Com a participação de profissionais do país e seus trabalhos, realizou-se em novembro de 1997 o primeiro “*Simpósio Brasileiro sobre Reatividade Álcali Agregado em Estruturas de Concreto*” no Brasil, em Goiânia, organizado pelo CBGB (Comitê Brasileiro de Grandes Barragens), Furnas Centrais Elétricas S.A. e IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto).

Neste evento, foram registrados novos casos da ocorrência da RAA, como a estrutura de concreto da Tomada d’água do Túnel 6 do Sistema Cantareira (SP), com os processos da reação ainda em desenvolvimento, a Usina Elevatória de Traição (SP), com intensificação dos deslocamentos com o tempo, e na Barragem

de Peti (MG). De forma ilustrativa, as Figuras 1 e 2 apresentam algumas evidências da RAA em estruturas de concreto.

Figura 1 - Fissuras em mapa – Barragem de Furnas – vista lateral do pilar do vertedouro no sentido montante e jusante (Furnas, 1997)

Figura 2 - Barragem de Porto Colômbia – detalhe do topo de um dos pilares do vertedouro com fissuração tipo mapa e deslocamento nas bordas (Furnas, 1997)

O Centro Tecnológico de Engenharia Civil de Furnas Centrais Elétricas S.A, localizado em Goiânia (GO), tem recebido diversos pedidos de ensaios de RAA de várias partes do Brasil e do exterior. O que mostra a preocupação pelo assunto bem como a busca da compreensão e dos métodos investigatórios para esta patologia.

O estudo da RAA tem envolvido a microscopia eletrônica de varredura através da utilização dos elétrons retroespalhados, utilizando-se em conjunto a técnica de espectrometria por energia dispersiva de Raios X com o objetivo de um melhor entendimento dos produtos da reação que são formados através de suas composições químicas (HASPARYK, 1999).

1.1 Motivações e justificativas

É de conhecimento que o concreto sofre expansão e contração sob a influência das condições climáticas. Estes movimentos causam deslocamentos que com o passar do tempo, provocam abertura nas juntas, fissuras, trincas e também esmagamento das juntas. A RAA ao reagir às condições climáticas causa problemas estruturais semelhantes, no que diz respeito à expansão.

Por tratar-se de uma patologia com poucas ocorrências registradas em pavimentos no Brasil, ou seja, no clima tropical, a realização de estudos sobre os seus efeitos estruturais, podendo auxiliar a estabelecer padrões para sua prevenção ou mitigação, e com isso evitar manutenção e gastos desnecessários, exigindo análises dos procedimentos e materiais antes da construção (HASPARYK, 1999).

1.2 Objetivos

Serão abordados nesta pesquisa dois estudos de caso em pavimentos de concreto: o primeiro sobre o Pátio de Estacionamento de Aeronaves do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos; o segundo estudo, sobre a Pista Experimental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Em ambos os casos ocorrem patologias de fissuras em forma de mapa, além de outras evidências que apontam para possível RAA.

Adquirir maior conhecimento sobre como ocorre a RAA e quais os efeitos estruturais nos pavimentos de concreto simples causados por esta patologia, são os objetivos desta pesquisa, sendo estabelecidas algumas diretrizes importantes.

Para o Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos foram retroanálises das deflexões medidas com o uso do *Falling Weight Deflectometer* (FWD) realizadas sobre as placas de concreto; comparação dos resultados obtidos através dos ensaios para detecção da reação; nova avaliação dos parâmetros estruturais dos pavimentos de concreto simples (módulo de elasticidade e módulo de reação do subleito).

No caso 2, os estudos com FWD e retroanálises foram realizados anteriormente por Colim (2009). Amostras foram extraídas da pista para a realização de ensaios laboratoriais em FURNAS para determinação da RAA e também conhecimento dos parâmetros estruturais do pavimento.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos onde o primeiro capítulo apresenta a introdução que diz respeito à importância do tema, as motivações e justificativas, os objetivos e sua organização.

No segundo capítulo, é apresentada uma breve revisão da literatura, tratando da definição e principais aspectos, os tipos de RAA e os métodos de investigação, fatores influentes, além de estudos de casos em pavimentos de concreto.

O terceiro capítulo descreve os estudos do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos e também da Pista Experimental da USP (EPUSP), as investigações e avaliações realizadas.

No quarto capítulo são descritos os materiais e métodos de investigação utilizados no programa experimental para o pavimento de concreto da Pista Experimental da USP quanto à determinação da RAA e principais parâmetros do concreto.

O quinto capítulo abrange a apresentação e análise dos resultados do programa experimental e as conclusões estão apresentadas no capítulo 6.

2. REVISÃO DA LITERATURA – REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

2.1 Definição e aspectos gerais

O concreto é um material compósito resultante da mistura de cimento, agregados, água e, eventualmente, aditivos minerais e químicos. O cimento é um aglomerante hidráulico que se apresenta sob forma de pó mineral, constituído de cinco fases: silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), ferro-aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) e sulfato de cálcio (CaSO_4). A presença da água no sistema provoca a dissolução parcial dessas cinco fases e a precipitação dos componentes hidratados que irão fornecer as propriedades mecânicas ao concreto.

Os agregados constituem o esqueleto do concreto e podem ser de várias origens, sendo constituídos frequentemente de sílica. A coexistência dessas diferentes fases no concreto produz um material contendo uma rede de poros interconectada, preenchida por uma solução intersticial alcalina.

A Reação Álcali-Agregado foi descrita por Kihara e Scandiuzzi (1986), como sendo:

Uma reação lenta e complexa que ocorre entre os álcalis ativos, ou disponíveis do cimento e algumas espécies de minerais presentes em alguns tipos de agregados, que em condições especiais provocam a deterioração do concreto. A reação manifesta-se no concreto por um padrão de fissurações, deslocamentos e uma exsudação de gel, nem sempre presente.

Tem-se conhecimento de três tipos de RAA: reação álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato. Diamond (1975) define a reação álcali-sílica (RAS) clássica como sendo uma reação química que envolve os cátions alcalinos e os íons hidroxilas presentes nas soluções dos poros do concreto e algumas formas de sílica, metaestáveis ou tensionadas, presentes ocasionalmente nos agregados. Esta reação pode causar expansões volumétricas, fissurações, perda de resistência e em casos extremos, a completa deterioração do concreto.

Dos países atingidos, o maior número de casos encontra-se nos Estados Unidos, embora no Brasil já tenham sido detectados diversos casos tais como o das barragens: Apolônio Sales, Joanes, Paulo Afonso, Pedras, Ilha dos Pombos, Pedro Beicht, UHE Furnas, UHE Mascarenhas de Moraes, UHE Porto Colômbia (HASPARYK, 1999; ANDRADE, 1997).

Esta reação ocorre entre os álcalis Na_2O e K_2O provenientes do cimento, a cal liberada pelo cimento e os agregados reativos, que contenham ácido silícico amorfo ou que sejam fracamente cristalinos (BICZOCK, 1972). Ainda de acordo com este autor, nesta reação ocorre a formação de um gel sílico-alcálico que ao absorver água, incha exercendo pressões expansivas e causando fissurações. Consequentemente o concreto sofre dilatações gerando uma rede de fissuras em sua superfície.

Para que se possam identificar, avaliar e conter os efeitos da reação álcali-agregado é necessário uma compreensão ampla da maneira como ela se desenvolve e ataca uma dada estrutura de concreto, inclusive suas características micromecânicas, conforme apresentado na Figura 3. Devido ao aumento do conteúdo de álcalis nos cimentos e ao fato de nem sempre se dispor de agregados de qualidade superior, um interesse ainda maior tem sido observado nos últimos anos.

Figura 3 – As figuras (a) e (b) apresentam os aspectos micromecânicos da RAA

A velocidade de desenvolvimento e magnitude das deformações vai depender de um grande número de fatores, primeiramente a natureza e quantidade disponível de agregados reativos, níveis de álcalis no cimento, temperatura ambiente,

disponibilidade de umidade e de eventuais restrições físicas à expansão, que podem ser internas ou externas.

Os principais sintomas decorrentes da RAA podem ser notados por microfissuras no concreto, principalmente na argamassa que preenche o espaço entre os agregados graúdos; fissuras na proximidade da superfície dos agregados graúdos, podendo também ocorrer na interface; perda de aderência da argamassa junto à superfície dos agregados graúdos; possibilidade de ocorrência de bordas de reação ao redor dos agregados que reagiram com os álcalis; presença de gel exsudando ou preenchendo vazios no concreto; abertura e/ou deslocamento relativo de juntas de contração e de concretagem; travamento e/ou deslocamento de equipamentos e peças móveis (comportas, turbinas, eixos, pistões, etc.); fissuração característica na superfície, com panorama poligonal, havendo predominância na direção de maior dimensão.

Em vários casos é confundida com o panorama de reação por sulfatos ou até mesmo retração por secagem (quando as fissuras forem de pequena abertura), e com o panorama de fissuração por origem térmica (quando as fissuras são de grande abertura); fissuras de grande abertura, transversais à maior dimensão da estrutura e movimentação das superfícies livres como alteamento de cristas de barragens e soleiras de vertedouros, deflexões para montante nas estruturas de barragens (ANDRIOLO,1997).

2.2 Mecanismos da expansão

Para se entender os efeitos macroscópicos da reação álcali-sílica e álcali-silicato no concreto, é fundamental que se compreendam os fenômenos micromecânicos correspondentes às reações. Segundo Peterson e Ulm (2000) os processos termodinâmicos e cinéticos, que levam à redução do potencial químico de todo o sistema, controlam os micro mecanismos da reação. Embora diversas pesquisas já tenham sido realizadas com o objetivo de se compreenderem os mecanismos químicos e mecânicos da reação álcali-sílica, ainda existem controvérsias na comunidade científica com relação a esse fenômeno, sendo a maior delas a que diz respeito à formação do gel deletério.

Alguns pesquisadores como Powers e Steinour *apud* Helmuth e Stark (1992) investigaram teorias acerca do mecanismo de expansão de géis expansivos e não expansivos. Segundo estas teorias, se o gel possuir alto teor de cálcio então é menos expansivo quando exposto à água e desse modo, não deve induzir fissuras no concreto. Apesar da maior parte dos trabalhos publicados não fazer distinção entre gel expansivo e não expansivo, há conhecimento de que mais de um tipo de gel é produzido nas RAA.

De acordo com Hobbs (1988) a expansão ocorre segundo o modelo geral apresentado na Figura 4. No estágio 1, o gel cresce induzindo tensões internas, mas não ocorrem microfissuras. No estágio 2, as fissuras induzidas são aumentadas o suficiente para causar microfissuras ao redor das partículas reativas. No estágio 3, o gel migra para dentro de algumas microfissuras, levando a um crescimento lento das tensões internas. Finalmente no estágio 4, as tensões internas induzidas em torno das microfissuras preenchidas pelo gel são elevadas o suficiente para causar extensas microfissuras resultando em grandes expansões.

Figura 4 - idealizado para representar a indução de fissuras (Fonte: Hobbs, 1988)

Mesmo dentro do quadro teórico de cada uma das quatro hipóteses descritas existem diferentes opiniões sobre o que de fato acontece durante a expansão do gel. Estes mecanismos são simplesmente representativos do que pode ser encontrado na literatura. Em certos casos, alguns autores apontam distinções entre os mecanismos, enquanto outros sugerem que estes mesmos métodos são

virtualmente sinônimos. Como exemplo pode-se citar Diamond (1989), que apregoa que a diferença entre a teoria da pressão osmótica e a da embebição seria puramente formal.

As reações álcali-sílica e álcali-silicato apresentam mecanismos de expansão bastante similares quanto ao processo de formação de gel e expansão do concreto. A Figura 5 ilustra de forma resumida o mecanismo de expansão desde a formação do gel até a fissuração do concreto.

Figura 5 – Resumo do processo da Reação Álcali-Agregado (Adaptado de: Ferraris,2000).

A reação de certas formas de sílica dos agregados com íons hidroxila da solução presente nos poros do concreto culmina na formação de um gel que induz tensões e subsequentemente fissuras em estruturas de concreto. De forma geral pode-se dizer que existem, pelo menos, cinco hipóteses para explicar a considerável pressão gerada pelo gel: aumento simples, pressão unidirecional, aumento do gel viscoso por absorção, pressão osmótica da célula e embebição (PETERSON; ULM, 2000).

Estas cinco hipóteses não são completamente diferentes umas das outras e, certamente, elas podem não ser mutuamente exclusivas.

A hipótese de simples aumento assume que a formação do gel ocorre dentro do próprio agregado supondo que o ataque promovido pelas hidroxilas aos agregados, quebra a sua estrutura sílica em nível que permitiria à solução alcalina se infiltrar no agregado e continuar a atacá-lo internamente. Assumindo que a formação do gel ocorra no local do ataque, o gel cresceria dentro do próprio agregado fazendo que ele torne-se maior. Dado o limitado espaço para crescer, o agregado pode então induzir pressões expansivas (e possíveis fissuras) à sua vizinhança.

Quanto à reação álcali-carbonato, onde as rochas reativas possuem em sua formação grandes cristais de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) espalhados e envoltos por matriz de granulação fina de calcita (CaCO_3) e argila, apresenta algumas características litológicas como o teor de argila ou teor de resíduo insolúvel na faixa de 5% a 25%; relação calcita/dolomita de aproximadamente 1:1; aumento do volume da dolomita até que o imbricamento se torne um fator restritivo e pequenos cristais de dolomita na matriz argilosa.

2.3 Tipos de reação álcali-agregado

A RAA ocorre entre os álcalis (cálcio e Potássio) liberados na hidratação do cimento e alguns tipos de minerais presentes no agregado. Baseado na composição mineralógica reativa desses agregados, as reações classificam-se em:

- Reação Álcali-Sílica;
- Reação Álcali-Silicato;
- Reação Álcali- Carbonato.

2.3.1 Reação Álcali-Sílica

A reação álcali-sílica também pode ser definida como uma reação química do tipo ácido-base. O reagente ácido é a sílica no estado sólido e os reagentes básicos são os hidróxidos de potássio ou sódio presentes na solução dos poros do concreto. O meio no qual ocorre a reação é a água. Como produto desta reação, encontra-se um hidrato sílico-cálcico-potássico (C-K-S-H) ou sílico-cálcico-sódico (C-Na-S-H) (DRON; BRIVOT, 1992).

A reação deste tipo é entendida como a reação química que envolve íons alcalinos e hidroxilas, originários na hidratação do cimento e o agregado cuja fase mineralógica contenha sílica na forma amorfa tais como opala, calcedônia, cristobalita e tridimita, certos tipos de vidros naturais (vulcânicos) e artificiais.

Este tipo de reação expansiva é a mais conhecida e a que ocorre mais rapidamente (KIHARA, 1993). O maior número de casos registrados no mundo envolve este tipo de reação. A unidade base estrutural da sílica é o íon silício (Si^{+4}), o qual se encontra circundado por 4 íons de oxigênio (O^-), formando uma estrutura tetraédrica, conforme apresentado na Figura 6. Paulon (1981) descreve as ligações da seguinte maneira:

Nas várias formas cristalinas de sílica os tetraedros estão unidos para formar uma rede tridimensional orientada, enquanto que na sílica vítrea os tetraedros estão unidos para produzir uma rede tridimensional ao acaso, ou seja, sem orientação.

Figura 6 - Estrutura tetraédrica da sílica (Fonte: Van Vlack, 1984)

O arranjo desordenado de tetraedros construídos ao redor de um átomo de silício reatado a íons de oxigênio e aos íons hidroxilas (OH^-) da solução alcalina formam a sílica amorfa. Uma vez que a RAS é a RAA predominante, esse fenômeno particular tem sido mais examinado e é melhor compreendido.

Danos estruturais oriundos da RAS ocorrem quando os álcalis (K^+ e Na^+) da solução intersticial e a sílica reativa (S^{2+}) dos agregados reagem, formando gel hidrofílico (chamado gel álcali-sílica) que aumenta de volume em presença de água, criando uma crescente pressão interna em determinadas regiões da matriz de concreto, induzindo deformações que podem iniciar a micro e macro fissuração do concreto (LEMARCHAND; DORMIEUX E ULM, 2002).

A RAS ocorre entre a sílica reativa e os íons hidroxila. A presença de metais alcalinos aumenta a possibilidade de ocorrência da reação, pois aumenta a concentração de hidroxilas (OH^-). Uma vez que os álcalis (K^+ e Na^+) são apenas parcialmente incorporados nos produtos de hidratação do cimento, eles são facilmente solúveis na água dos poros, fazendo com que a concentração de hidroxilas aumente, elevando o pH da solução de cerca de 12,4 para um valor entre 13 e 14 (PETERSON; ULM, 2000).

Segundo Glasser e Kataoka; (1981) e diversos outros autores como Turriziani, (1986); Stievenard-Gireaud (1987); CIGB/ICOLD (1991); Helmuth e Stark (1992); Capra *et al.* (1995) e Furnas, (1997), um mecanismo bastante aceito é de que inicialmente ocorre a reação ácido-base, quando os íons hidroxilas OH^- atacam as ligações do grupo silanol (SiOH) neutralizando-as. Na figura 7, é possível observar o mecanismo de associação que ocorre do cátion (Na^+) à estrutura, balanceando então a carga negativa dos átomos de oxigênio, formando o gel sílico alcalino.

Figura 7 - Neutralização das ligações do grupo silanol pelas Hidroxilas (Fonte: Turriziani, 1986)

Através do ataque do grupo siloxano pelos íons hidroxilas em excesso, ocorre outro estágio da RAS, o que levando à desintegração de sua estrutura, permitindo a absorção de água e dos íons alcalinos. A Figura 8 apresenta esta reação.

Figura 8 - Ruptura das ligações do grupo siloxano pelos íons hidroxilas (Fonte: Turriziani, 1986)

2.3.2 Reação Álcali-Silicato

Este tipo de reação, segundo Kihara e Scandiuizzi (1986), ocorre entre os álcalis do cimento e os silicatos existentes nos feldspatos, folhelhos argilosos e certas rochas sedimentares (argilitos, siltitos e grauvacas), metamórficas (ardósias, filitos, quartzitos, xistos) e magmáticas (granitos). Este tipo de reação é semelhante à reação álcali-sílica, porém mais lenta, pois os minerais reativos estão mais disseminados no retículo cristalino.

A Reação Álcali-Silicato (RAS) é o tipo de reação considerada responsável pela deterioração de estruturas de concreto no Brasil. Entre alguns casos registrados, encontram-se a Barragem Apolônio Sales (Moxotó), Barragem de Joanes, Barragem de Paulo Afonso, Barragem de Billings/Pedras e bases de concreto Nordeste/PE (HASPARYK,1999).

Hobbs (1988) apresenta a RAS como sendo a reação que ocorre entre os álcalis presentes na solução dos poros do concreto e alguns minerais do grupo dos filossilicatos que estão normalmente presentes as grauvacas, filitos ou argilitos. Segundo Kihara e Scandiuizzi (1986) e Hobbs (1988), estes minerais do grupo dos filossilicatos podem sofrer esfoliações no contato com as soluções alcalinas ou por

incorporação de água gerando tensões expansivas suficientemente elevadas capazes de causar fissuração no concreto.

Como manifestações da RAS, encontra-se uma zona escura na interface pasta/agregado formada por um gel de silicato alcalino, conhecida como “borda de reação”, e depósitos brancos sobre os agregados e nos planos de clivagem constituídos por silício, cálcio e potássio (CIGB/ICOLD, 1991).

Apesar de ser um tipo de reação muito estudada até o presente momento, não está completamente esclarecida, sendo, portanto merecedora de mais estudos pela grande frequência em que ocorrem particularmente no Brasil.

2.3.3 Reação Álcali-Carbonato

A reação álcali-carbonato (RAC) ocorre entre os álcalis do cimento e calcário dolomítico, havendo formação de brucita $Mg(OH)_2$ e regeneração de hidróxidos alcalinos, não havendo formação de gel expansivo como na reação álcali-sílica.

De acordo com Biczok (1972) não são somente as rochas silicosas que são atacadas pelos álcalis, as dolomitas também são destruídas por estes. Trata-se de uma reação completamente distinta das reações álcali-sílica ou álcali-silicato (PAULON, 1981). Quando ocorre o ataque dos álcalis, as dolomitas não resistem formando o $Mg(OH)_2$ conhecida como “*desdolomitização*” (BICZOK, 1972).

Taylor (1990) apresenta a reação de desdolomitização como sendo a reação que ocorre entre certos agregados contendo a dolomita e os íons hidroxilas (OH^-). O hidróxido de cálcio presente no concreto reage com o CO_3^{2-} proveniente da reação de desdolomitização formando a calcita ($CaCO_3$) e regenerando os íons hidroxilas, mantendo assim um elevado pH.

Entretanto, os álcalis não irão se incorporar aos produtos formados, mas atuarão como catalisadores da reação entre o CH e os íons carbonatos. Uma vez que a solução dos poros do concreto é saturada de portlandita, deduz-se que a reação de desdolomitização ocorrerá até esgotar toda a dolomita presente no agregado (FURNAS, 1997).

As fissurações e o enfraquecimento da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado são resultados da Reação Álcali Carbonato (CIGB/ICOLD, 1991). No Brasil, não existe registro de casos envolvendo esta reação (CASTRO; GUERRA; FONTOURA, 1997).

2.4 Reatividade potencial álcali-agregado

2.4.1 Generalidades

As rochas são massas formativas da crosta terrestre que mantêm, em cada caso, certa uniformidade de composição e características. O mineral pode ser definido como um elemento ou composto químico sólido resultante de processos inorgânicos, de composição química geralmente definida, e encontrada naturalmente na crosta terrestre (LEINZ; AMARAL, 1995).

A determinação no campo do tipo de agregado que é potencialmente reativo é uma tarefa bastante complexa. O primeiro teste a ser realizado para identificar a presença de constituintes reativos nos agregados é o exame petrográfico. Embora esse primeiro passo seja necessário, pode ser que os resultados não forneçam informações conclusivas. A investigação petrográfica fornece dados de grande utilidade, mas não existe uma forma confiável de se determinar a reatividade de um dado agregado no campo.

Com o passar dos anos, muitos testes foram padronizados pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e, juntamente com a experiência de campo, tornou-se mais fácil identificar a presença de formas reativas de sílica. Características morfológicas como a cristalinidade e a área superficial, por exemplo, são fatores que exercem influência na caracterização do grau de reatividade de um agregado com os álcalis. Em alguns agregados, moléculas de água podem substituir a sílica na sua estrutura, devido a sua compatibilidade geométrica.

Este fenômeno enfraquece a integridade estrutural do agregado porque as novas ligações de hidrogênio (Si-OH...OH-Si) são muito mais fracas do que as ligações

siloxano originais (Si-O-Si). Assim, esta substituição tende a tornar o agregado mais reativo (PETERSON; ULM, 2000).

Em geral, podem-se destacar as rochas silicosas com estruturas amorfas e desordenadas, como a opala e a obsidiana (vidro natural altamente silicoso), como sendo particularmente suscetíveis ao ataque dos álcalis (KURTIS, COLLINS e MONTEIRO, 2002). Deve-se chamar a atenção que sílicas cristalinas polimorfas como a crisobalita e a tridimita também possuem elevado potencial reativo (PETERSON; ULM, 2000).

Kurtis, *et al* (2002) preconizam que qualquer agregado contendo sílica tem potencial para participar da reação álcali-sílica. Estes autores citam o quartzo como exemplo que, embora altamente cristalino, possui em sua superfície ligações Si-O polarizadas negativamente tornando possível a ocorrência da reação. Segundo Peterson e Ulm (2000), a suscetibilidade à RAA está relacionada à quantidade de pontos disponíveis para ocorrer o ataque da hidroxila.

De acordo com estes últimos autores, a reação tem mais chance de ocorrer o ataque dos íons hidroxila. Dessa forma, os agregados com estruturas bem cristalizadas são menos reativos. A Tabela 2.1 apresenta informações, fazendo uma correlação entre a natureza da rocha, o tipo de agregado e as fases mineralógicas presentes:

Tabela 2.1 – Natureza da rocha, tipo de agregado e fases mineralógicas (Fonte: Hasparyk, 1999)

TIPO DE AGREGADO	FASE MINERALÓGICA REATIVA
Areia – Sedimento	Eventualmente o quartzo tensionado, Opala (>0,25%) e Calcedônia (>3%)
Rocha ígnea	
Andesito, dacito, fonólito, latito, obsidiana, pedra púmice, riolito e tufo vulcânico.	Vidro vulcânico ácido a intermediário, tridimita e minerais de alteração.
Basalto	Minerais de alteração (clorofeita), calcedônia, cristobalita, opala, palagonita e vidro vulcânico básico.
Granito granodiorito	>30%* de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$ e minerais de alteração.
Rocha sedimentar	
Arenito	>30% de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$, opala e calcedônia.
Calcário	Relação calcita/dolomita próximo a 1 e associada a argilominerais, opala e calcedônia.
Grauvaca	30% de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$ e quartzo microcristalino a criptocristalino, argilominerais e opala.
Chert	Calcedônia, Opala e quartzo criptocristalino.
Rocha metamórfica	
Ardósia	Quartzo tensionado e argilominerais
Filito	>30% de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$ e quartzo microcristalino a criptocristalino e vermiculita.
Gnaisse, granulito, micaxisto, quartzito e xisto.	>30% de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$, feldspato deformado e quartzo de granulação fina.
Milonito	Quartzo tensionado e de granulação fina
Rochas metassedimentares	Quartzo tensionado e filossilicatos

* No caso do granito e granodiorito, considera-se >20% (LE ROUX, 1988)

Todos os dados apresentados na Tabela 2.1 indicam a potencialidade reativa das rochas. Em função das fases mineralógicas presentes, pode-se sugerir a potencialidade reativa dos agregados quando em contato com os álcalis do cimento. Entretanto, uma mesma rocha pode possuir diferentes comportamentos (LE ROUX,

1988). Existem outros fatores que também interferem de forma bastante significativa na reação álcali-agregado, não sendo fator determinante apenas da presença de uma fase reativa no agregado.

2.5 Métodos de investigação da RAA

Para minimizar as incidências deste tipo de corrosão, e, por conseguinte dispendiosas medidas de recuperação, os materiais a serem empregados na fabricação do concreto, devem ser submetidos a exaustivos estudos. Os estudos são baseados em vários tipos de ensaios os quais podem ser classificados em geral em três tipos: os métodos que avaliam os agregados, unicamente; os métodos que avaliam amostras de concreto e argamassa; e métodos para avaliar as combinações cimento/agregado.

Cabe ressaltar que cada metodologia de ensaio tem vantagens e desvantagens, assim como suas limitações. Em alguns casos, um método pode mostrar-se mais rápido, devendo, porém ser utilizado com eficácia em apenas um tipo de reação. Algumas metodologias estão discriminadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Métodos Investigatórios, normas e premissas para investigação da RAA

MÉTODO INVESTIGATIVO	NORMA	PREMISSAS
Investigações “in situ” e em testemunhos	ASTM C - 856	Histórico do concreto, registro das características dos materiais e métodos construtivos.
Análise Petrográfica	ASTM C – 295 ASTM C - 856	Tanto para rocha quanto para concreto, fornece informações sobre a composição mineralógica, se há a presença ou não de constituintes de agregados suscetíveis aos álcalis do cimento e seu percentual.
Método Químico	ASTM C – 289 NBR 9774	Avaliação da reatividade potencial do agregado em função da concentração de sílica dissolvida e da redução da alcalinidade
Método das Barras	ASTM C – 227 NBR 9773	Investigar a RAA através da variação de comprimento de barras de argamassas, com relação água/cimento 1:2,25 e cimento de elevado teor de equivalente alcalino. Desvantagem é o período longo de ensaio (6 a 12 meses).
Método Acelerado NBR I (Sul Africano)	ASTM C - 1260	Variante do Método das Barras. Curto prazo de análise.
Método Osipov		Submete o agregado graúdo a uma temperatura de 1000° C (Celsius) durante 60 segundos. O agregado contendo fase mineralógica reativa, ao ser exposto a temperatura elevada, fragmenta-se dando indícios de sua potencialidade expansiva, porém, sua não fragmentação não dá subsídios para conclusões finais.
Método das Rochas Carbonáticas	ASTM C – 586 NBR 10340	Avalia as características expansivas de rochas carbonáticas. Método alternativo. Em função da variação de comprimento de um mini testemunho cilíndrico de rocha.
Microscopia Eletrônica de Varredura	ASTM C - 856	Amostras de concreto ou argamassa que foram previamente submetidos a ensaios para avaliar a reatividade potencial do agregado. Verifica bordas preenchendo as interfaces da pasta/agregado, superfícies de fratura, gel nos poros e interfaces.
Método dos Prismas de Concreto	ASTM C – 1293 A 23.2 – 14A	RAS - Possibilita a avaliação da potencialidade reativa do agregado na participação da reação.
	ASTM C - 1105	RAC – Possibilita a avaliação da reatividade potencial de rochas carbonáticas.

2.6 Fatores intervenientes para ocorrência da RAA

Os fatores que influenciam decisivamente a RAA são a elevada alcalinidade nos poros do concreto, a granulometria e a quantidade dos constituintes reativos no agregado, assim como as condições de temperatura e umidade nas quais está exposto o concreto. A micromecânica da RAA é controlada por processos termodinâmicos e cinéticos, mas até o momento ainda não estão bem definidos todos os aspectos do processo.

Para explicar a formação do gel, por exemplo, existem duas linhas de pensamentos distintas. Na primeira a formação do gel é modelada como um processo topoquímico, que é aquele no qual o local onde a reação se processa é fixado pelas mesmas condições de seu progresso, ocorrendo dessa forma, na interface agregado-cimento. A segunda linha de pensamento sugere a possibilidade do transporte iônico através da solução porosa, de forma que o gel possa se formar em qualquer lugar.

Apesar de discordarem em aspectos importantes a respeito da química da reação, as duas linhas concordam em pontos fundamentais, relacionados à evolução da reação. Dessa forma tem-se como estabelecida a sensibilidade da reação à temperatura, que tem um efeito basicamente cinético, acelerando a reação, mas não afetando significativamente a sua amplitude.

Outro ponto de concordância é o fato de que a reação é limitada pela quantidade de reagentes e não de produto, o que significa que a reação perdurará enquanto houver reagentes, independente da quantidade de gel produzida. Da mesma forma sabe-se que a umidade é essencial para a ocorrência da reação, podendo influenciar na magnitude da mesma (PETERSON; ULM, 2000). Um aspecto que tem gerado controvérsia é a influência de carregamentos externos na RAS.

A Tabela 2.3 demonstra de forma resumida os fatores mais influentes para a ocorrência da RAA.

Tabela 2.3 – Fatores influentes para a ocorrência da RAA

FATORES INFLUENTES	CARACTERÍSTICAS
Tipo e tamanho dos agregados	Há uma tendência de expansão em argamassas contendo maior quantidade de partículas finas que naquelas com quantidade menor ou similar de partículas maiores. Em dimensões muito pequenas as reações podem ocorrer com a diminuição do tamanho das partículas. Isto porque passa a existir um efeito pozolânico, ainda que processado de forma lenta.
Proporção Cimento-Agregado	Presença suficientemente alta de álcalis (a partir do clínquer do cimento ou de outras fontes); Presença suficientemente alta de sílica reativa no agregado; Umidade suficientemente alta.
Teor de Álcalis no concreto	Ocorrerão reações expansivas, quando o teor de álcalis solúveis for maior que 3,8kg/m ³ de concreto; Não ocorrerão reações expansivas se o conteúdo de álcalis solúveis estiver abaixo de 1,8kg/m ³ de concreto; Poderão ocorrer reações expansivas, ou seja, características de potencialmente reativo, caso a concentração de álcalis solúveis se situar entre 1,8kg/m ³ e 3,8kg/m ³ de concreto.
Compostos Alcalinos	A causa fundamental da RAA é a elevada concentração de íons hidroxilas em solução nos poros do concreto fabricado com cimento rico em sódio e potássio, esta alcalinidade inicia-se na hidratação do cimento, com a liberação de hidróxido de cálcio, sendo a concentração de íons hidroxilas menor que a concentração Na ⁺ e K ⁺ , pois estes cátions requerem algum tempo para regenerar íons hidroxilas equivalentes.
Tensão	Bastante controverso.

2.7 Condições ambientais

As condições ambientais são fundamentais para a ocorrência da RAA, as condições locais quanto à umidade e temperatura são bastante relevantes para esta patologia. A Tabela 2.4 aponta os principais pontos considerados nestes casos.

Tabela 2.4 – Condições Ambientais para ocorrência da RAA

CONDIÇÕES AMBIENTAIS	EFEITO
Umidade	A umidade é um requisito para a expansão, principalmente por solubilizar os íons que por sua vez, promoverão a reação, em ambientes com umidade relativa abaixo de 80% não ocorre expansão. Contudo, torna-se necessário que o teor de umidade seja constante, pois a reação pode novamente desencadear-se sempre que ultrapassar o limite supracitado.
Temperatura	A elevação da temperatura acelera a reação álcali-agregado e a formação do gel, pois as reações químicas são sensíveis à temperatura. Por outro lado, a temperatura elevada o gel é menos viscoso, infiltrando-se nos vazios do concreto.

Para pavimentos de concreto, a condição ambiental é um fator extremamente influente já que se trata de uma estrutura submetida às intempéries, não tendo proteção alguma, ou seja, o pavimento sofre constantemente a influência da temperatura e umidade.

2.8 Alternativas para prevenir a RAA

A medida mais segura para prevenir a RAA é o emprego de agregado não reativo. Entretanto, pode ocorrer que os agregados suscetíveis aos álcalis sejam a única fonte disponível para a viabilização de um projeto, requerendo desta forma medidas que possam dirimir a reação expansiva.

Algumas pesquisas na *Federal Highway Administration* (FHWA) estão sendo desenvolvidas, tratando do emprego de aditivos químicos a base de íons alcalinos e lítio. É possível afirmar que o uso do lítio vem mostrando grandes resultados como medida paliativa às reações álcali-sílica e álcali-silicato.

Não há conhecimento de algum método eficiente, que seja seguro e que se torne viável para mitigar ou eliminar os efeitos da RAA quando detectada. Constantes reparos ocorrem em função do monitoramento com uso de instrumentação para que a estrutura não perca suas funções vitais, por isso a importância de se prevenir. Algumas das alternativas apontadas como eficazes no controle da RAA estão listadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Alternativas para controle da RAA

FATORES INTERVENIENTES	CONSIDERAÇÕES
Relação Água/Cimento	A utilização de concreto com porcentagens muito grandes de vazios não sofre expansão, uma vez que esta quando se desenvolve preenche os espaços, não provocando, conseqüentemente, pressões internas.
Material Cimentício	Menor permeabilidade, como consequência menor mobilidade dos íons; Elevada resistência às tensões expansivas causadas pela reação; Diminuição dos álcalis em função da reposição parcial do cimento; Reação pozolânica produzindo hidratos secundários, os quais incorporam os íons alcalinos e consomem a portlandita, reduzindo desta forma a concentração de álcalis e o valor do pH da solução.
Teor de ar incorporado	Em concretos confeccionados com agregados reativos que não mostraram expansões deletérias, o gel pode ser encontrado preenchendo os vazios originados pelo ar incorporado. Isto sugere que o ar incorporado pode diminuir o risco de fissuração do concreto devido à RAA, embora não evite a formação do gel em si.
Pozolana	Os problemas decorrentes das reações álcali-sílica e álcali-silicato, são facilmente prevenidas através do uso de pozolanas, com isto ocorre uma reação entre a sílica e os hidróxidos alcalinos, assim, não ocorre a formação do gel expansivo.
Cinza Volante (Fly Ash)	Acredita-se que a reação pozolânica da cinza volante ocorra mais lentamente do que a da sílica ativa. Um efeito físico benéfico pode ocorrer em função da forma dos grãos da cinza. As esferas têm o poder de lubrificar a mistura, portanto, a quantidade de água requerida em um concreto pode ser reduzida na presença da cinza volante.
Cinza de Casca de Arroz	Durante o processo de queima, são produzidos a partir da casca aproximadamente 20% de cinza, em massa. Esta cinza contém basicamente a sílica altamente reativa, o material se tornou atrativo para o uso como adição pozolânica (MEHTA,1977). Baseado em todas as características abordadas anteriormente e principalmente da elevada pozolanicidade da cinza casca de arroz, quando a queima é bem controlada, acredita-se que o efeito desta pozolana possa ser similar ao da sílica ativa, ou seja, bastante benéfico no combate da reação expansiva.

2.9 A RAA em pavimentos de concreto

No Brasil há poucos relatos sobre pavimentos de concreto degradados pela RAA, mesmo porque a malha viária brasileira é em sua maior parte pavimentada com asfalto em pavimento asfáltico, onde até o ano de 2009, a extensão de estradas pavimentadas em concreto não ultrapassavam 2 mil km (BALBO, 2009). O contrário acontece nos Estados Unidos da América. A malha viária americana tem boa parte construída em pavimentos de concreto, sendo que muitos casos de pavimentos apresentando problemas estruturais devido a RAA, são relatados.

Uma prática adotada é de se avaliar os agregados em argamassas e a expansão do concreto como uma medida em função do tempo. Como forma de identificação, alguns outros métodos são adotados como: identificação da presença de gel interna e externamente, redução dos módulos de elasticidade, análises petrográficas e por microscopia, como descritos anteriormente.

Gress e Kozikowski (2008) afirmam que todas estas técnicas necessitam que a reação tenha ocorrido antes mesmo da identificação através dos ensaios, nenhum deles é tão fácil ou eficaz como o monitoramento, por exemplo, as micro trincas não ocorrem até que a expansão exceda aproximadamente 0,08%.

O programa de testes consistiu em avaliar diversos métodos potencialmente capazes de acelerar a RAA em prismas de concreto seguindo o padrão AASHTO T-303, avaliando a resistência da patologia utilizando o método mais eficiente para se avaliar a resistência do concreto à RAA, a ASTM C-441.

Os autores então concluíram que devido as ambiguidades encontradas na classificação dos agregados de acordo com seu potencial reativo, e ao fato de possuírem pozolanas de boa qualidade e escórias à um custo razoável, tornaria-se difícil a verificação da expansão apenas com a utilização de extensômetros, entretanto, os critérios utilizados pelo extensômetros para avaliar os resultados da ASTM C-441, 0,10% de expansão em 56 dias, são mais rigorosos que os critérios comumente utilizados como C-1260 e C-1293, que resultam 0,10% em 14 dias. Assim, os resultados da ASTM C-441 preveem níveis mais elevados de substituição de pozolana ou escória do cimento Portland com determinado índice de alcaloide.

Ao longo de 50 anos, os pavimentos de concreto de Iowa, apresentaram bom desempenho sem deterioração. Em 1950, Iowa confrontou-se com uma grave deterioração no pavimento de concreto devido à presença na mistura de pedra calcária esmagada que apresentava um conjunto de poros ruins. Este problema, na época, foi solucionado com a execução de uma extração seletiva.

Em 1990, um pavimento de concreto no Centro de Iowa, com três anos de construção, apresentou deterioração com surgimento de trincas. Ao realizarem a microscopia eletrônica de varredura para identificação da deterioração, identificaram uma pequena concentração de gel de sílica e quantidades consideráveis de enxofre e alumínio (etringita) nos vazios do concreto.

A pesquisa realizada por Lane (2006) identificou que um caso de deterioração fora causada devido à etringita e foi erroneamente identificado como RAA. O Departamento de Transportes de Iowa (DOT) encontrou um problema bastante desafiador: a autovia US 20 da Fort Dodge para a Cidade de Webster, com quatro pistas novas, estava em 1990, apresentando rachaduras e o principal fator de deterioração era o agregado graúdo.

Durante sua construção, uma série de mudanças de jazidas de materiais para o concreto foi feita, proporcionando assim seis diferentes combinações de materiais. Então, em 1992 foi contratado um consultor que concluiu que a causa da deterioração era a RAA.

Lane (2006) relata que mesmo o consultor identificando a patologia como RAA, o DOT realizou ainda outros ensaios. Foi utilizado também um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Chegou-se a conclusão que alguns resultados que indicariam a RAA como causa da deterioração da pista, mas que o enchimento substancial de vazios com etringita, também poderia ser a causa. Assim, pode ocorrer alguns pavimentos de concreto, que apresentem deterioração precocemente identificadas como RAA, na verdade, podem ser causadas devido a formação excessiva de etringita.

Lane e Ozyiidirim (2006) descreve que uma rodovia interestadual em Michigan, apresentou deterioração após 10 anos em serviço, tendo sido ela construída em 1992. Foi realizado um estudo preliminar para determinar a causa possível da deterioração da pista. Ao todo, foram avaliadas nove seções diferentes, todas feitas

com agregado graúdo, escória de alto forno e agregado fino e foram realizadas análises químicas e petrográficas, além de microscopia eletrônica de varredura.

Os resultados indicaram que os agregados finos eram reativos, além disso, foram constatados níveis elevados de sulfato, resultando no preenchimento dos vazios com etringita. A natureza exata dos mecanismos de deterioração não foi totalmente compreendida, mas ficou claro que há algum tipo de interação entre a RAA e o excesso de sulfatos.

Como método experimental, Lane e Ozyiidirim (2006), selecionaram uma seção transversal do pavimento e realizaram os seguintes ensaios:

- ASTM C457 – Determinação microscópica dos parâmetros ar-vazios do concreto endurecido;
- Análise química para detectar a presença de sulfato;
- Análise petrográfica para verificação da microestrutura; e
- Análise química para detectar os produtos da RAA;

Dos resultados, Lane e Ozyiidirim (2006), concluíram que:

- Os resultados da análise do índice de vazios de ar mostraram que na maioria dos concretos originalmente eram suficientes para proteger a pasta contra danos de gelo e degelo. Desde a construção, os vazios têm sido enchidos com depósitos minerais secundários de sulfato, em alguns casos pode comprometer a eficácia do sistema de vazios de ar. Isso foi mais seriamente pronunciado nas seções de pavimento deterioradas;
- Avaliação Petrográfica de algumas seções demonstrou conclusivamente as partículas de agregado fino estão passando por uma RAA deletéria. Esta reação é caracterizada pela quebra das partículas dos agregados e relacionada a fratura e a produção da RAA observada nas rachaduras e vazios. Em contraste, o exame de outras seções de pavimento que foram classificadas, não apresentaram deterioração similar;

- Os alcaloides totais disponíveis mostraram que o álcali total medido obtidos de pavimentos deteriorados foram superiores ao limite recomendado para RAA;
- Os testes indicaram que a extração de sulfato foi significativamente maior a partir de seções deterioradas do que aqueles de pavimentos em condições boas. Uma fonte para o excesso de sulfato não pôde ser encontrado de forma inequívoca, mas é provável que a dissolução de sulfeto de cálcio na escória é proveniente do agregado graúdo. O processo de dissolução é diretamente dependente da alcalinidade, assim, há uma interação entre o potencial para RAA e dissolução de sulfeto de cálcio.

3. ESTUDOS DE CASO: PAVIMENTOS DE CONCRETO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO - GUARULHOS E DA PISTA EXPERIMENTAL DA USP/FAPESP

Neste capítulo as análises da RAA nos pavimentos de concreto no Aeroporto Internacional de Guarulhos e Pista Experimental da USP serão apresentados. Referente ao Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, os ensaios apresentados e seus resultados foram executados na época da investigação da patologia, entretanto, as análises são realizadas em cima de retroanálises dos resultados da época e um comparativo com as condições atuais. Já quanto a Pista Experimental da USP, são apresentados e análises referem-se a análises realizadas e resultados obtidos.

3.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos

O Aeroporto Internacional de São Paulo, atualmente com 14 km² de extensão, é hoje o maior aeroporto da América do Sul. O Aeroporto atualmente atende a 35 milhões de passageiros ligando 28 países e 41 companhias aéreas, com uma circulação de cerca de 100 mil pessoas por dia entre passageiros, funcionários e visitantes (GRUAIRPORT, 2012)

As obras do Aeroporto de Guarulhos começaram em 1980, estando hoje em funcionamento três terminais de passageiros, complexo de pistas para pouso, decolagem e taxiamento, terminal de cargas e toda a infraestrutura necessária aos quatro terminais previstos no Plano Diretor.

A inauguração do primeiro terminal foi em 20 de janeiro de 1985. Já o segundo terminal foi concluído em quatro etapas diferentes. Em junho de 1991 foram entregues os balcões de check-in da asa C, na segunda, em dezembro de 1991, as três primeiras salas de embarque e desembarque doméstico, na terceira, em dezembro de 1992, foi colocado em funcionamento o setor de embarque doméstico;

e, finalmente, na última etapa, em julho de 1993, o setor de embarque e desembarque internacional.

Atualmente o Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos está sob Concessão da GRUAirport, responsável pelas obras atuais de ampliação, onde estão sendo construídos o Edifício Garagem 1 (inaugurado em Maio de 2013), Terminal de Passageiros 3 (TPS-3), Central de Utilidades (CUT), Pátios de Estacionamento de Aeronaves, Pátio de Estacionamento Remoto, Sistema de Macrodrenagem, Sistema Viário de acesso ao TPS-3 e readequação das pistas existentes.

O pavimento de concreto dos pátios de estacionamento de aeronaves dos terminais 1 e 2 são constituídos por 40 cm de espessura de placa de concreto de cimento Portland, 20 cm de brita graduada tratada com cimento (BGTC) e 15 cm de brita graduada simples apoiadas em aterro compactado de espessura variável.

No ano de 1997 foram observadas as primeiras patologias no pavimento de concreto, mais especificamente na região do terminal de cargas. Na época contratou-se uma empresa de consultoria, a qual apresentou relatório onde descrevia como causa das patologias o fenômeno de preenchimento progressivo das juntas e trincas do pavimento “*growing pavement*”.

No final do ano de 2002, foram observadas patologias semelhantes nas regiões dos pavimentos rígidos dos terminais de passageiros. Estas patologias motivaram a investigação das causas e soluções para evitar consequências destas na futura ampliação do Aeroporto.

Foi então contratada, em 2004, uma nova empresa de consultoria, IEME Brasil Engenharia Consultiva Ltda., a qual deu início ao plano de investigações das patologias até então desconhecidas. Os dados obtidos, análises e resultados serão apresentados no decorrer deste trabalho.

As investigações realizadas pela IEME do Brasil tiveram início em setembro de 2004, onde foi possível observar as seguintes patologias:

- No pavimento – foram observados dois tipos de trincas predominantes, uma longitudinal ao pavimento e perpendicular ao tráfego de aeronaves e, a segunda em forma de “mapa” com uma distribuição errática na superfície, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Pavimento danificado – Terminal de Cargas (IEME Brasil, 2004)

- Nos pits de abastecimento – também foram observados, que em diversos bocais de combustível, ocorreu uma descentralização da tubulação em relação ao poço.
- Canaletas de drenagem - foi verificado que o pavimento em seu deslocamento horizontal danificou grelhas e canaletas de drenagens adjacentes, sobretudo próximos aos acessos de veículos às edificações, conforme apresentado na Figura 10.

(a)

(b)

Figura 10 – As Figuras (a) e (b) mostram as condições das canaletas de drenagem próximo ao pavimento da Via de Serviço operacional do Pátio de Aeronaves (IEME Brasil, 2004)

- Edificações – foram observadas fissuras e trincas nos pilares das marquises. Estas trincas foram geradas pelo deslocamento horizontal da base dos pilares em direção à edificação, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Trincas na face interna dos pilares das marquises (IEME Brasil, 2004)

- Torres de iluminação – observaram-se inclinações em algumas torres de iluminação, estas patologias indicavam um deslocamento horizontal do piso. Devido a estas indicações, três hipóteses foram levantadas:
- Expansão dos materiais utilizados no corpo de aterro – seria possível que por algum motivo, o material utilizado no aterro estivesse sofrendo um processo de expansão. Esta expansão provocaria o deslocamento do pavimento, danificando consequentemente as demais estruturas.
- Preenchimento progressivo das juntas – esta hipótese foi considerada com base no relatório realizado por empresa de consultoria, onde, de acordo com o relatório, o deslocamento horizontal das placas se deve ao fenômeno denominado “*growing pavement*”, onde as trincas e juntas não seladas seriam preenchidas quando as placas estivessem retraídas (em baixas temperaturas) e que este material seria comprimido quando as placas estivessem expandidas (em alta temperatura). Este fenômeno seria cíclico e progressivo.

Finalmente, se aventou a possibilidade da existência da RAA tendo em vista a possível expansão do pavimento de concreto.

3.1.1 Ensaios mecânicos sobre as amostras extraídas

Como etapas de investigações, foram realizados os ensaios abaixo descritos.

Sondagens a Percussão (SPT)

Foram executadas 17 sondagens a percussão na região do pavimento rígido. O total perfurado foi de 179,95m medindo-se a resistência à penetração a cada metro de profundidade e fazendo-se a identificação tátil-visual de cada amostra coletada.

A profundidade das sondagens fixada em 10,45m atendeu ao objetivo que era a verificação do nível do lençol freático, exceto pela SP-17 que foi aprofundada para 12,45m devido a maior espessura do aterro no local.

As sondagens foram executadas com espaçamento básico de 100 m, sendo 5 sondagens ao longo do Pátio Fox, 3 ao longo de cada um dos Pátios Golf, Hotel, Índia e Juliet, conforme o projeto de locação dos furos de sondagem apresentado no **ANEXO A**.

Retirada das Amostras de Concreto

Foram retiradas amostras de concreto sobre as trincas estruturais, sobre as fissuras em mapa, sobre as juntas de expansão e sobre o concreto aparentemente totalizando 17 pontos coincidentes com os pontos onde foram realizadas as sondagens.

Levantamento das Possíveis Deformações nos Querodutos

Como havia uma grande preocupação com relação a integridade da rede de abastecimento das aeronaves, querodutos, e os efeitos dos deslocamentos horizontais observados no piso sobre a tubulação de querosene, foi realizado

levantamento topográfico dos bocais dos Pits, e com a utilização de investigação Geofísica “GPR – *Ground Penetration Radar*” em diversas seções, conforme os projetos de locação apresentados nos **ANEXO B** e **ANEXO C**.

3.1.2 Avaliação da ocorrência da RAA

Foram enviadas a Furnas amostras retiradas em algumas posições, para que fossem realizados todos os ensaios pertinentes para determinação da presença ou não de reação álcali-agregado. Com a identificação de tal patologia, foi iniciada a segunda etapa de investigações.

Posteriormente foram extraídas mais 12 amostras, porém, fora de regiões de trincas estruturais ou juntas de expansão, a fim de se obter material que possibilitasse a execução de ensaios de compressão, compressão diametral e módulo de elasticidade. Os resultados destes ensaios podem indicar de maneira indireta a presença de reação álcali-agregado, uma vez que esta reação provoca redução dos valores de resistência do concreto à tração, à compressão e o módulo de elasticidade.

3.1.2.1 Ensaios mecânicos sobre as amostras extraídas

Foram realizados três tipos de ensaios nos corpos de prova:

- Ensaio de compressão simples;
- Ensaio de compressão diametral para se determinar a resistência à tração indireta;
- Determinação do módulo de elasticidade em compressão.

3.1.2.2 Determinação das deflexões elásticas sobre as placas

As provas de capacidade de carga com emprego de deflectômetro de impacto FWD de marca Dynatest foram realizadas de maneira a contemplar inúmeras situações de placas de defeitos em todos os terminais avaliados, contemplando 64 pontos de levantamentos, com aplicação de três carregamentos por ponto, para melhoria de precisão nos resultados obtidos. Um exemplo da área de atuação e posicionamento dos geofones de um FWD é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Áreas de atuação do equipamento Deflectômetro de Impacto “FWD” (IEME Brasil, 2004)

Os estudos com FWD permitiram a abordagem de parâmetros importantes considerados nas análises objetivadas pelo trabalho para a avaliação estrutural dos pavimentos como Módulo de reação do subleito (k), Módulo de Elasticidade do Concreto (E) e eficiência da transferência de cargas entre juntas ou fissuras (LTE). As análises foram elaboradas por meio de retroanálise de pavimentos de concretas amplamente aceitas.

3.1.3 Instrumentação

3.1.3.1 Medidores de Nível D'Água

Visando o monitoramento da variação da cota do nível d'água do lençol freático na área dos Pátios de Estacionamento de Aeronaves, foram instalados medidores de nível d'água nos furos das sondagens à percussão, conforme apresentado na Tabela 3.1 e **ANEXO D**.

Tabela 3. 1 – Medidores de nível d água instalados (IEME Brasil, 2004)

POSIÇÃO	PROFUNDIDADE DA INSTALAÇÃO (m)
SP01	6,15
SP02	4,7
SP03	2,7
SP04	3,6
SP05	3,65
SP06	2,65
SP07	2,7
SP08	1,75
SP09	3,48
SP10	8,4
SP11	4,8
SP12	2,2
SP13	1,25
SP14	1,65
SP15	1,68
SP16	2,2
SP17	1,66

Figura 13 - Medidor de nível d água (IEME Brasil, 2004)

Um resumo das posições e respectivas profundidades são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3. 2 – Resultados da primeira leitura realizada (IEME Brasil, 2004).

POSIÇÃO	PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)
SP01	4
SP02	3,3
SP03	1,71
SP04	seco
SP05	seco
SP06	seco
SP07	0,34
SP08	seco
SP09	seco
SP10	7,27
SP11	seco
SP12	1,69
SP13	0,16
SP14	2,13
SP15	seco
SP16	1,6
SP17	1,65

É possível observar em função dos valores acima demonstrados, que a profundidade do lençol freático varia bastante ao longo dos pátios e que com exceção da SP13 em que o nível apresentou-se bastante superficial, os demais encontram-se bem abaixo da estrutura de pavimento.

3.2 Pista experimental da USP / FAPESP

O segundo estudo de caso desta pesquisa trata da Pista Experimental, construída na Escola Politécnica da USP pelo Laboratório de Mecânica de Pavimentos (LMP). A pista foi construída em 2001 com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (SEVERI, 2002).

Com seu início construtivo em maio de 1999, a pista experimental foi concluída outubro do mesmo ano, sendo executada em concreto simples apoiado em bases de concreto compactado com rolo (CCR) ou brita graduada simples (BGS) (SEVERI, 2002).

Tabela 3.2 – Características do Concreto utilizado na Pista Experimental da USP (Severi, 2002)

Materiais e Características		
Cimento	kg/m ³	396
Cimento	tipo	CP-II 32
Agregado 19 mm	kg/m ³	483
Agregado 25 mm	kg/m ³	724
Agregado fino	kg/m ³	620
Água	l/m ³	180
Plastificante	l/m ³	1388
Superplastificante	l/m ³	20
Sílica	kg/m ³	20
Água/ Material cimentício		0,455
Resistência a Compressão 24h	MPa	20
Resistência a Compressão 7 dias	MPa	20
Resistência a Compressão 28 dias	MPa	37,6
Resistência a Tração 28 dias	MPa	5,14
Módulo de Elasticidade 55 dias	MPa	32,0
Módulo de Elasticidade 100 dias	MPa	36,2

As concretagens ocorreram com intervalo de 10 dias, sendo a pista composta por cinco seções de teste divididas em três placas cada seção (SEVERI, 2002), conforme apresentado na Tabela 3.3 e figuras 14 e 15.

Tabela 3.3 – Características das seções experimentais do pavimento de concreto na USP (Severi, 2002)

Seção	Placa	Comprimento (m)	Espessura da placa (mm)	Tipo de Base	Espessura da base (mm)	Barras de Transferência de carga ($\phi = 32\text{mm}$; $c = 400\text{mm}$)		
A	A1	4,00	150	BGS	200	em juntas	ambas	as
	A2	5,50	150	BGS	200			
	A3	7,50	150	BGS	200			
B	B1	4,00	150	CCR	200	em juntas	ambas	as
	B2	5,50	150	CCR	200			
	B3	7,50	150	CCR	200			
C	C1	4,00	250	CCR	100	em juntas	ambas	as
	C2	5,50	250	CCR	100			
	C3	7,50	250	CCR	100			
D	D1	4,00	250	BGS	100	em juntas	ambas	as
	D2	5,50	250	BGS	100			
	D3	7,50	250	BGS	100			
E	E1	5,50	250	BGS	100	apenas entre placas E1 e E2	entre	as
	E2	5,50	250	BGS	100			
	E3	5,50	250	BGS	100

Figura 14 - Seções em planta da Pista Experimental da USP (adaptado de SEVERI, 2002)

Figura 15 - Seções em corte da Pista Experimental da USP (adaptado de Colim, 2006)

Em 2006, a pista experimental da EPUSP apresentava algumas anomalias como fissuras transversais e outras fissuras que poderiam ter ocorrido devido à retração plástica ocasionada após o lançamento do concreto ou por estar sob os efeitos da RAA.

3.2.1 Investigações posteriores sobre a Pista Experimental

Durante os anos de 2006 e 2007, foram realizados testes com aplicação de carga com o uso do FWD posicionado próximo a junta transversal nos períodos de inverno e verão e também no centro de placas apenas no período da manhã (COLIM, 2009)

Como ferramentas de análises utilizou-se o FWD para medir a deflexões e o programa computacional ISLAB 2000 para simular as condições de carregamento interativamente para retroanálise dos parâmetros medidos, além de infravermelho para medir a temperatura de topo da superfície do pavimento evitando qualquer contato.

3.2.2 Dados experimentais

Colim (2009) realizou retroanálises dos parâmetros estruturais das placas de concreto com a utilização das deflexões obtidas através do uso do FWD e com o uso do software de elementos finitos ISLAB 2000. Com o uso do ISLAB 2000, foram realizados os procedimentos de retroanálise das bacias de deflexões para estimativa de valores dos parâmetros E e k e logo após, a retroanálise das bacias de deflexões de centro de placas associado ao critério de Hall (1991).

3.2.3 Metodologia de Análise

Alguns métodos de análise foram realizados no Estudo de Caso aqui presente:

- Avaliação destrutiva: Sondagens rotativas com recolhimento de amostras para execução de ensaios laboratoriais para determinação da resistência à compressão e módulo de elasticidade;
- Avaliação da capacidade estrutural por meio de prova de carga;
- Georradar para identificação das camadas da estrutura de pavimento;
- Medidas de valores de eficiência de transferência de carga em juntas;
- Medidas de deflexão realizadas por meio de FWD com aplicação de uma carga dinâmica, aplicada por impacto sobre uma placa com dimensões conhecidas simulando a aplicação de carga de um par de rodas de caminhão (BALBO, 2007)

3.2.4 Modelos para retroanálise de parâmetros de pavimento de concreto

Colim (2009) descreve que na Pista Experimental da USP, investigou a aplicabilidade da equação desenvolvida por Hall (1991) para o estudo dos pavimentos de concreto simples.

Durante análise, nas seções A, B, C, D, E com espessuras placa mais base em concreto de 150, 250, 350, 250 e 250 mm, em relação ao raio de rigidez relativa com base nos parâmetros obtidos através dos resultados do FWD, pode-se concluir que a partir do modelo de Hall (1991), que as estruturas de pavimento mais espessas, apresentaram valores de raio de rigidez maiores em relação a outros modelos.

Deve-se considerar também que o modelo de Hall (1991) foi desenvolvido exclusivamente para cargas de 40 kN, enquanto as medidas deflectométricas obtidas experimentalmente foram para 47, 74, e 94 kN.

3.2.5 Análise de LTE em juntas

Durante o inverno de 2006 e o verão de 2007, Colim e Balbo (2009), avaliaram diversas formas de transferência de cargas em juntas, com ou sem barras de transferência, na pista Experimental da USP.

Concluíram que com a presença das barras de transferência a LTE chega a valores entre 90 e 100%, já para os casos sem as barras de transferência, o horário do dia e época do ano, interferem diretamente em sua eficiência.

Com a utilização da equação abaixo, onde $S1_{antes}$ é a medida da deflexão no ponto de aplicação da carga e $S2_{depois}$ a deflexão em um ponto simétrico, do lado oposto da junta e com os valores de LTE, determinados em pista com a utilização do FWD, os resultados mostram-se bastante variáveis em função da hora do dia e consequentemente o diferencial térmico.

Com a expansão das placas que ocorre devido o aumento de temperatura do dia, há uma melhora na interface das placas nas juntas. Ao se projetar um pavimento de concreto sem barras de transferência, devem-se considerar as diferentes condições de LTE no decorrer do mesmo dia e entre estações climáticas, que os experimentos indicaram variar entre 40% (diferencial térmico nulo) e 80% (diferencial térmico na hora mais quente no verão).

Os resultados quanto à eficiência de transferência de cargas foram analisados por meio da seguinte equação:

$$LTE = \left(1 - \frac{\delta_{antes} - \delta_{depois}}{\delta_{antes}} \right) \times 100 [\%] \quad (3.1)$$

Onde:

LTE – Eficiência de Transferência de Cargas entre juntas;

δ_{antes} – Deflexão na junta da placa sem carregamento;

δ_{depois} – Máxima deflexão na junta com carga aplicada.

Sendo as deflexões aquelas medidas antes e depois da junta transversal ou fissura para uma carga de FWD aplicada nas proximidades da mesma junta ou fissura.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos de investigação utilizados para detectar a possibilidade da ocorrência da RAA no pavimento de Concreto da Pista Experimental da USP e metodologia utilizada para retroanálise dos dados coletados nos Pátios de Aeronaves do Aeroporto Internacional.

4.1 Detecção da RAA na Pista Experimental da USP

4.1.1 Extração dos Corpos de Prova

No dia 24/04/2013 foi realizada a extração de seis corpos de prova de três placas de concreto na Pista Experimental da USP, as sondagens rotativas foram realizadas MHS Engenharia, foram em 27/05/2013 encaminhadas a Furnas para execução de ensaios laboratoriais, as amostras foram extraídas nas placas C2, C3 e E3 conforme figura esquemática 16.

Figura 16 - Placas para extração de corpos de prova, adaptado de Colim (2006)

Na Figura 17 são apresentadas as condições de superfície, com trincas em forma de mapa presentes nas placas.

(a)

(b)

(C)

(d)

Figura 17 - (a) Placas 01 (C2) e 02 (C3), (b) Placa 03 (E3), (c) e (d) Trincas em forma de mapas.

As sondagens rotativas foram executadas nas dimensões de 15 cm x 20 cm, pois ao se retirar os corpos de prova, as amostras se rompiam, não sendo possível a retirada da camada imediatamente adjacente à placa de concreto. A figura 18 apresenta o processo executivo.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 18 – Extração de amostras (a) e (b) Posicionamento extratora, (c) e (d) Remoção da amostra.

4.1.2 Programa Experimental

Este programa experimental foi desenvolvido com objetivo de avaliar o concreto empregado na Pista experimental da USP quanto à probabilidade da ocorrência de

RAA. Para tanto, conforme descrito acima, foram extraídas seis amostras do pavimento e enviados ao Laboratório de Furnas.

A escolha dos ensaios foi realizada conforme os passos necessários para conhecimento dos materiais empregados no concreto utilizado para execução do pavimento e para a detecção da RAA.

Foram realizados ensaios para determinação do módulo do concreto, resistência à compressão simples, microscopia ótica de luz transmitida e de luz refletida, difratometria de raios-X, análise química e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Estas técnicas foram escolhidas por terem se mostrado eficazes ao longo dos anos para verificação do comportamento reativo ou inócuo dos agregados quando expostos aos álcalis, teor de álcalis no cimento, RAA, existência ou não de gel expansivo e comportamento estrutural do concreto, tendo diversos estudos com boas correlações entre estes ensaios (HASPARYK, 1999).

Desse modo, o planejamento dos experimentos foi realizado primeiramente com a verificação das características e propriedades do concreto, microscopia ótica, análise química e por último, difração de raios X e MEV para detecção da RAA que, conforme a Figura 19, mostrou as trincas em forma de mapa, característica desta patologia, em evolução.

Figura 19 – Evolução das trincas em forma de mapa, características da RAA.

4.1.2.1 Determinação das Características e Propriedades do Concreto

O módulo de elasticidade do concreto foi determinado em três das cinco amostras ensaiadas à compressão (ASTM C-39), onde foram levadas à ruptura, sendo o módulo calculado com o diagrama tensão-deformação com 40% da carga de ruptura.

Para todas as amostras foi realizada a correção da relação h/d , quando necessário, determinação da resistência e a partir desta correção, o módulo foi determinado. A velocidade do carregamento durante o ensaio foi constante e igual a 0,25 MPa/s conforme ASTM C-39, com utilização de prensa eletromecânica EMIC, modelo de 100 toneladas e extensômetros elétricos também da EMIC, modelo TEDA, com comprimento de base de medida igual a 150 mm (FURNAS, 2013).

4.1.2.2 Microscopia Ótica de Luz Transmitida

A investigação petrográfica dos agregados do concreto foi realizada apenas na amostra CP-02 com a utilização do microscópio ótico de luz transmitida podendo assim, classifica-lo de acordo com sua natureza.

Esta investigação é realizada a partir de lâmina, fazendo assim a descrição mineralógica dos agregados constituintes dos concretos, com base na NBR 15577 (Partes 1 e 3), enfatizando a análise dos minerais potencialmente reativos do ponto de vista da RAA (FURNAS, 2013).

4.1.2.3 Microscopia Ótica de Luz Refletida

A investigação qualitativa realizada com uso do microscópio ótico de luz refletida foi executada nas amostras CP-02, CP-04 e CP-05, e teve como objetivo identificar os opacos, indicando prováveis alterações (HASPARYK, 2005).

4.1.2.4 Difractometria de Raios X

As análises por meio da difratometria de raios x foram realizadas nas amostras CP-02, CP-04 e CP-05, com foco na fração argamassa dos concretos, permitindo assim, a identificação dos principais constituintes mineralógicos. Esta técnica identifica a estrutura cristalina das fases que compõem os materiais através das distâncias interatômicas, com utilização dos raios X (HASPARYK, 2005).

4.1.2.5 Análise Química

Com o objetivo de se determinar os elementos químicos presentes no que diz respeito a enxofre, foram realizadas as análises químicas nas amostras CP-02, CP-04 e CP-05, tais análises foram realizadas utilizando-se o método gravimétrico com

amostras moídas (material inferior a 45 μm , passante na peneira nº 325), separando previamente os agregados das porções argamassa das amostras.

4.1.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Trata-se de uma técnica que viabiliza a análise da amostra através da produção de imagens de alta resolução. Sua operação é proveniente de um sistema de vácuo interno que resulta na secagem da amostra (HASPARYK, 2005).

Para realização da análise com a utilização do MEV, as amostras ensaiadas, neste caso CP-02, CP-04 e CP-05, foram fragmentadas com o uso de martelo, ponteira e talhadeira, fazendo-se assim, inicialmente, uma inspeção visual (FURNAS, 2013).

Feita a seleção do material suficiente e representativo para análise, sua superfície recebeu uma fina camada de material condutor, no caso ouro (Au) de forma a deixar visível ao MEV.

4.2 Retroanálise dos ensaios realizados no Aeroporto

4.3 Determinação dos parâmetros do concreto

Com base nos resultados obtidos com a execução do levantamento defletoométrico realizado nos Pátios de Aeronaves, foram também determinados os parâmetros AREA (área da bacia de deflexão), raio de rigidez relativa da placa de concreto (ℓ), módulo de reação do subleito (k) e módulo de elasticidade do concreto (E).

Para retroanálise, o modelo analítico utilizado foi o desenvolvido por Katherine Teresa Hall em 1991, que ao analisar a resposta estrutural de diversas seções de pavimentos de concreto e com base no raio de rigidez da placa de concreto (ℓ) idealizado por Westergaard, determinou a relação entre o raio de rigidez e o parâmetro AREA (BALBO, 2009).

$$\ell = \left[\ln \frac{\left(\frac{36 - AREA}{1812,279133} \right)}{-2,55934} \right]^{4,387009} \quad (4.1)$$

Onde:

$$AREA = 6 \left[1 + \frac{2d_{30} + 2d_{60} + d_{90}}{d_0} \right] \quad (4.2)$$

Com base nas equações acima apresentadas, é possível observar que o parâmetro AREA que corresponde a área das bacias de deflexão máxima sob uma carga de FWD aplicada, onde seu cálculo é realizado em polegadas e os índices dos valores de deflexões indicados na equação correspondem a 0, 12, 24 e 36 polegadas.

Os parâmetros obtidos de forma empírica são correlacionados com o valor de rigidez relativa (ℓ), empregando medidas de FWD realizadas em centro de placa, são o módulo de elasticidade do concreto (E) e o módulo de reação do subleito (BALBO, 2009).

Conhecidos os valores de ℓ , raio de carga circular aplicado e a máxima deflexão, emprega-se a equação para carga em centro de placa, de Westergaard para determinação do parâmetro k.

$$k = \frac{P}{8.d_0.l^2} \left[1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{a}{2.l} \right) - 0,67278436 \right] \cdot \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right] \quad (4.3)$$

Determina-se então o parâmetro E do concreto de posse dos valores de ℓ e k utilizando a equação 4.5.

$$E = \frac{12(1-u^2) k.\ell^4}{h^3} \quad (4.4)$$

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos

Os resultados das sondagens realizadas no Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, confirmaram que todas as camadas dos solos, com baixa capacidade de suporte foram removidas, conforme previsto no projeto de terraplenagem, sendo o reaterro, executado principalmente com argilas arenosas vermelhas, compactadas até a consistência Rija dentro da classificação do SPT. A única exceção refere-se à área do Pátio Índia, com baixo grau de compactação – “mole” na base da placa de concreto do pavimento rígido.

A análise dos índices de penetração das sondagens mostra que houve um aumento da energia de compactação nos últimos 60 cm do aterro, como previsto no projeto de terraplenagem. Os ensaios de laboratório executados para classificação geotécnica dos solos das áreas de empréstimo para aterro, à época de projeto, mostraram que os únicos solos com potencial expansivo são os siltes argilosos, de cor roxa.

A partir dos ensaios de expansividade executados foi considerado o emprego destes solos no corpo do aterro com valor máximo de 2% de “inchamento”, para CBR = 7,4%, com sobrecarga de 35 cm de solo com densidade de 1,7g/cm³.

As sondagens mostraram a presença deste silte ao longo de toda a extensão do Pátio Remoto, no corpo do aterro, com espessura variando de 4,0 m até 7,6 m. Sendo a cobertura mínima determinada de 40 cm, estando, portanto, dentro dos limites de projeto.

Referente às primeiras amostras de concreto notou-se que as trincas estruturais atravessam o pavimento completamente, dividindo o pano em duas partes isoladas. As trincas em mapa atingem a profundidade de 5 cm da superfície e aparecem tanto na face superior como na face inferior. Observou-se ainda, que a junta de expansão retirada aparece limpa e íntegra, porém com espaçamento menor que o de projeto.

Tanto o concreto assim como a base de brita graduada tratada com cimento apresentam visualmente um bom aspecto. Os corpos de prova foram retirados em sua maioria intactos e inteiros sem ocorrência de fragmentação.

Os principais defeitos constatados foram divididos nos seguintes tipos de gênese ou morfologias superficiais:

- Fissuração em mapas, típica da reação álcali-sílica;
- Lamelação de fissuras em mapa, também típica da reação álcali-sílica;
- Escalonamentos, ou seja, degrau entre as placas;
- Fissuras de natureza aparentemente estrutural;
- Placas novas não defeituosas.

Nas Tabelas 5.1 a 5.5 são apresentados os defeitos e diagnósticos levantados para as diferentes áreas do Aeroporto Internacional de São Paulo. As áreas são apresentadas da seguinte forma: Pátio Remoto 2 é apresentado no **ANEXO E**, Pátio Remoto 1 é apresentado no **ANEXO F**, Pátio do TPS2 é apresentado no **ANEXO G**, Pátio do TPS 1 é apresentado no **ANEXO H** e o Pátio do Terminal de Cargas é apresentado no **ANEXO I**.

Tabela 5.1 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição Remota 2

TIPO DE DEFEITO	SENTIDO LESTE		SENTIDO SUL		SENTIDO OESTE	
	Nº de placas	%	Nº de placas	%	Nº de placas	%
RAA	355	94,4	88	47,8	44	11,7
RAA + Lamelas	155	41,2	65	35,3	26	6,9
Escalonamentos	6	1,6	-	-	-	-
Fissura estrutural	160	42,5	91	49,5	339	90,2
Novas	-	-	-	-	-	-
Total	376	100	184	100	376	100

Tabela 5.2 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TPS-2

TIPO DE DEFEITO	SENTIDO LESTE		SENTIDO SUL		SENTIDO OESTE	
	Nº de placas	%	Nº de placas	%	Nº de placas	%
RAA	330	87,8	7	7	26	6,9
RAA + Lamelas	112	29,8	-	-	-	-
Escalonamentos	-	-	-	-	-	-
Fissura estrutural	111	29,5	11	11	306	81,4
Novas	38	10,1	100	100	23	6,1
Total	376	100	100	100	376	100

Tabela 5.3 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TPS-1

TIPO DE DEFEITO	SENTIDO LESTE		SENTIDO SUL		SENTIDO OESTE	
	Nº de placas	%	Nº de placas	%	Nº de placas	%
RAA	14	5,5	-	-	3	1,2
RAA + Lamelas	-	-	-	-	-	-
Escalonamentos	-	-	-	-	-	-
Fissura estrutural	224	87,8	7	1,5	224	87,8
Novas	10	3,9	434	95,4	8	3,1
Total	255	100	455	100	376	100

Tabela 5.4 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição Remota 1

TIPO DE DEFEITO	SENTIDO LESTE		SENTIDO SUL		SENTIDO OESTE	
	Nº de placas	%	Nº de placas	%	Nº de placas	%
RAA	6	2,3	-	-	16	6,2
RAA + Lamelas	-	-	-	-	-	-
Escalonamentos	-	-	-	-	-	-
Fissura estrutural	217	83,8	94	69,1	232	89,6
Novas	-	-	-	-	1	0,4
Total	259	100	100	100	376	100

Tabela 5.5 - Defeitos diagnosticados durante levantamento realizado no Pátio de Aeronaves, posição TECA (Terminal de Cargas).

TIPO DE DEFEITO	SENTIDO LESTE	
	Nº de placas	%
RAA	19	3
RAA + Lamelas	2	0,3
Escalonamentos	-	-
Fissura estrutural	596	93,6
Novas	6	0,9
Total	637	100

Algumas dificuldades foram encontradas no levantamento dos Pits, pois não foi possível o acesso direto ao bocal. O levantamento foi feito tomando-se como referência a tampa que protege o bocal de saída do combustível.

A investigação geofísica teve como objetivo localizar e determinar a real posição da linha de querodutos enterrada nos pátios de aeronaves; entretanto, os resultados foram afetados pelo grande número de interferências geradas por dutos subterrâneos de eletricidade e de fibra óptica, aeronaves e maquinários.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que realmente ocorreu um leve deslocamento das placas de concreto em relação aos bocais de abastecimento (Pits), porém face às imprecisões nos valores obtidos, não foi possível determinar a existência de deformações significativas.

As anomalias encontradas nas linhas analisadas estão apresentadas nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8.

Tabela 5.6 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)

Número Perfil	Posição da anomalia (m)	Profundidade (m)
Linha - 01	9,5	2
Linha - 02	12,0 / 13,3	0,5 / 2,0
Linha - 03	2,8	3
	9,3	1
Linha - 04	3	1
	6,1	2,1
Linha - 05	1,5 / 3,0	0,9 / 2,0
	7,2	1,5
	10,4	1,4
Linha - 06	5,2	0,9
	5,15	2,6
Linha - 07	0,5	1
	5,8	1
	11,3 / 13,0	1,6 / 2,40
	15,4 / 18,80	1,0 / 2,0
	29,9	3,2
	34	1
	30,0 / 42,2	0,4 / 1,8
Linha - 08	3,10 / 5,50	1,0 / 2,1
	8,5	1,5
	13	1
Linha - 09	3,5	1
	10,2	1,5
Linha - 10	1,6	1,4
	11,6	1,7
	12,7	1,7
Linha - 11	9,0 / 12,0	1,10 / 2,50
Linha - 12	12,4	0,8
	8,80 / 14,40	1,30 / 5,0

Tabela 5.7 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)

Número Perfil	Posição da anomalia (m)	Profundidade (m)
Linha - 13	5,2	1,4
Linha - 14	8,6	1,9
Linha - 15	4,8	2,2
	15	5,5
Linha - 16	7,5	1,3
Linha - 17	6,95	2,1
Linha - 18	6,5	2
Linha - 19	3,0 / 10	1,60 / 3,40
Linha - 20	1,5	1
	1,60 / 6,10	0,00 / 2,20
	9,30 / 17,0	0,00 / 2,20
Linha - 21		
Linha - 22		
Linha - 23		
Linha - 24		
Linha - 25	1,9	3,9
Linha - 26	7,3	1,5
Linha - 27	10	4
Linha - 28		
Linha - 29	12,7	1,1
Linha - 30		
Linha - 31	3,1	1,7
	7,3	1,95
	8,4	2,2
Linha - 32		
Linha - 33	8	1,4

Tabela 5.8 – Resultados obtidos com a investigação geofísica (IEME Brasil, 2004)

Número Perfil	Posição da anomalia (m)	Profundidade (m)
Linha - 34	3	1,4
Linha - 35	1,5	2,2
	7,7	5,5
Linha - 36	9	1,3
	16,8	2,1
Linha - 37	6	2
Linha - 38	3,5 / 6,0	0,0 / 2,20
	3,8	1,5
	15,8	2,9
	15,8 / 20,2	0,0 / 2,50
	22,6 / 24,9	0,0 / 3,10
	25,4 / 34,4	0,0 / 2,80
Linha - 39	4,2	1,4
	9	1,7
Linha - 40	2,3	1,6
	4,6	2
	7,2	2
	13,7	1,6
Linha - 41	6,50 / 19,10	0,0 / 3,40
Linha - 42	5,2	2,6
Linha - 43	3,05	1,2
	11,5	3
Linha - 44	5	0,8
Linha - 45	3,1	1,8
	6	2,5
Linha - 46	6,3	3,5

5.1.1 Estudo de RAA

Com a confirmação da existência de tal patologia, iniciou-se a segunda etapa de ensaios. Os resultados dos ensaios de ruptura das amostras de concreto são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resumo dos resultados obtidos durante a realização dos ensaios (IEME Brasil, 2004).

PONTO	fc ¹ (MPa)	fct, sp (MPa)	Eci ² (MPa)	fct, f (MPa)	fc ³ (MPa)
SP02	48,1	3,7	17,8	4,76	48,1
SP06	47,6	2,83	17,8	3,64	47,6
SP08	65,8	3,48	38,8	4,47	65,8
SP10	74,2	3,52	37,4	4,53	74,2
SP15	38,5	4,04	32,8	5,19	38,5
SP17	63,4	3,77	34,4	4,85	62,77
SP18	62,8	4,01	39,8	5,16	62,8
SP19	47,4	5,51	42,1	7,08	47,4
SP20	55,8	4,92	22	6,33	55,8
SP21	27	3,87	25,8	4,98	25,92
SP22	64,3	-	64,3	-	61,73
SP23	54,1	4,77	38,1	6,13	51,94
SP24	69	5,29	37,4	6,8	69
SP25	57,3	5,27	41,4	6,78	57,3
SP26	69,6	5,35	32,2	6,88	69,6
SP27	66,6	-	39,6	-	57,94
SP28	48,1	5,31	32,9	6,83	48,1
SP29	45,6	5,07	48	6,52	45,6

Onde:

¹ – Valores de resistência à compressão simples sem correção de relação h/d;

² – Módulo de elasticidade calculado pela inclinação da reta pelos pontos 0,5 MPa e 0,3 MPa;

³ – Valores de resistência à compressão corrigida conforme ASTM C42-77.

Com base nos resultados obtidos, foi possível observar que os valores obtidos no ensaio de resistência à tração para as amostras SP02, SP06, SP08, SP10, SP17 e SP21, apresentaram queda considerável, e em sua maioria, menor que a prevista em projeto (5 MPa).

Quanto aos resultados obtidos para o módulo de elasticidade as amostras SP02, SP06, SP20 e SP21, também apresentaram queda com valores menores que a média, assim como, nas amostras SP15 e SP21 para a resistência a compressão.

Os ensaios não mostram a sobrecarga correspondente à expansividade de 2%; entretanto considerando-se a sobrecarga de 40 libras, que apresentou expansividade de 1,54%, portanto inferior a 2%, valor máximo aceito e utilizando-se a mesma metodologia de cálculo, podemos concluir que a altura mínima de aterro sobre o silte para evitar a expansão seria de 56 cm de um solo inerte de densidade de $1,7\text{g/cm}^3$. Condição esta verificada ao longo de todo o pátio Fox.

Para determinação da presença da Reação Álcali-Agregado, alguns corpos de prova passaram pelos ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Óptica, identificando assim suas principais características. Nas figuras 20 a 22 são apresentadas as características dos testemunhos broqueados.

(a)

(b)

Figura 20 - Primeiros testemunhos levados para realização da MEV (a) SP 01 e (b) SP 04

(a)

(b)

Figura 21 - Primeiros testemunhos levados para realização da MEV (a) SP 04 e (b) SP 14

Figura 22 - Amostra com superfície de fratura extraídas do testemunho de concreto SP 01 (IEME Brasil, 2004)

Em todos os corpos de prova ocorrem, em maior ou menor intensidade, bordas de reação no contorno dos agregados graúdos assim como deposição de material esbranquiçado nas superfícies de descolamento. Ao microscópio óptico observam partículas de cimento anidro presentes nas argamassas dos concretos principalmente de compostos do clínquer, suspeita-se da presença de partículas de escória, conforme apresentado nas Figuras 23 a 25.

Figura 23 – Micrografia - Aspecto do concreto (SP11): Observam-se dois poros preenchidos, um deles parcialmente preenchido por cristais e o outro totalmente por material branco (gel)

Figura 24 – Micrografia - Aspecto da porosidade dos concretos observada ao microscópio estereoscópico: A – agregado graúdo, MB – material branco (Fonte: IEME Brasil, 2004)

Figura 25 – Micrografia - Aspecto do concreto ao microscópio de luz transmitida, no qual se observa a deposição gel no contorno do agregado graúdo (A). (P) – poro (IEME Brasil, 2004)

Os concretos estudados são compostos principalmente por agregados do tipo pedra britada e por mistura de areia natural. Do ponto de vista físico-mecânico, a alta tenacidade e a alteração insipiente de seus constituintes, permitem considerar os agregados como de boa qualidade.

Do ponto de vista mineralógico, entretanto, a deformação observada de um modo geral nos agregados graúdos favorece o desencadeamento de reações expansivas do tipo álcali-silicato. De um modo geral, as observações ao microscópio mostraram que os concretos apresentaram características microestruturais e texturais compatíveis com concretos de boa qualidade. De fato, observam-se produtos típicos da hidratação do cimento Portland e etringita.

Os produtos cristalizados apresentam hábitos principalmente foliares e estão agrupados em “tufos” ou em grandes massas, que se desenvolvem preferencialmente em meio aos grãos de quartzo ou feldspato que constituem os

agregados graúdos. O gel típico da reação, a partir do qual normalmente se desenvolvem os produtos cristalizados, também está presente sendo observado em poros na argamassa ou no contorno dos agregados graúdos, conforme apresentado nas Figuras 26 e 27.

Figura 26 – Micrografia - Formação de produtos cristalizados da reação álcali-agregado com forma de rosáceas ou tufos de material cristalizado (AA) – QZ – grão de quartzo (IEME Brasil, 2004)

Figura 27 – Micrografia - Formação de produtos cristalizados da reação álcali-agregado com forma de cristais fibrosos (AA) que se desenvolvem sobre o agregado IEME Brasil, 2004)

5.1.2 Medidas de deflexões sob carga de impacto

As provas de capacidade de carga com emprego de FWD realizadas em todos os pátios avaliados, consideraram as placas que apresentaram defeitos e resultaram em 64 pontos de levantamento.

De maneira geral, o levantamento deflectométrico foi executado da seguinte forma:

- No pavimento de concreto foram aplicadas, no mesmo ponto, três vezes a carga de cerca de 41 kN, sendo posicionadas no centro da placa, na junta

entre placas e em fissuras no interior da placa. Nas juntas e nas fissuras, o equipamento foi posicionado de forma que a junta ou fissura ficasse exatamente entre o sensor 2 (20 cm do eixo de aplicação da carga) e o sensor 3 (30 cm do eixo de aplicação da carga);

- As posições selecionadas, com base nos defeitos presentes em placas, procuraram analisar as respostas estruturais dos pavimentos de concreto para carregamentos centrais, de borda e mesmo em fissuras transversais centrais às placas de concreto. Assim, foram selecionadas 17 posições na Remota 2, 16 no TPS 2, 13 no TPS 1, 12 na Remota 1 e 2 no Terminal de Cargas.

Os estudos com FWD permitiram a abordagem de alguns parâmetros importantes para a avaliação estrutural de pavimentos: Módulo de reação do subleito (k), Módulo de elasticidade do concreto (E) e Eficiência da transferência de cargas entre juntas ou fissuras (LTE).

As Tabelas 5.10 a 5.14 apresentam os resultados obtidos através do levantamento deflectométrico realizado nos Pátios (Pátio do TPS -1, Pátio do TPS-2, Pátios Remotos e Terminal de Cargas), mais especificamente, nas áreas visualmente mais comprometidas dos Pátios.

Tabela 5.10 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio do TPS-1 (IEME Brasil, 2004)

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)							Temperatura	
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C
Externa	centro	128 E	34	4062	4	3	3	3	2	2	2	34	48
				4062	4	3	3	3	2	2	2	34	48
				4070	4	3	3	2	2	2	2	34	48
Externa	borda	128E/228E	35	4134	4	3	3	2	2	2	2	34	47
				4156	3	3	3	2	2	2	2	34	47
				4134	4	3	3	2	2	2	2	35	47
Externa	fissura	228E	36	4134	3	2	2	2	2	2	2	34	47
				4127	3	2	2	2	2	2	1	34	47
				4149	3	2	2	2	2	2	2	34	47
Externa	centro	118E	37	4077	4	3	3	3	3	2	2	34	48
				4120	4	3	3	3	3	2	2	33	47
				4120	4	3	3	3	3	2	2	34	47
Externa	centro	118E/218E	38	4098	4	3	3	3	3	2	2	34	46
				4098	4	3	3	3	3	2	2	34	46
				4113	4	3	3	3	3	2	2	34	46
Externa	fissura	218E	39	4077	4	3	2	2	2	2	2	34	46
				4070	4	3	2	2	2	2	2	33	46
				4091	4	3	2	2	2	2	2	34	46
Frontal	centro	110	40	4026	5	5	5	5	4	4	3	33	43
				3998	5	5	5	5	4	4	3	33	43
				4005	5	5	5	5	4	4	3	34	43
Frontal	borda	110/210	41	4106	5	5	5	4	4	3	3	33	43
				4091	5	5	5	4	4	3	3	33	43
				4120	5	5	5	4	4	3	3	33	43
Externa	centro	112E	42	4041	4	3	3	3	3	3	2	33	46
				4041	4	4	3	3	3	3	2	33	46
				4091	4	3	3	3	3	3	2	33	46
Externa	borda	112E/222E	43	4091	4	4	3	3	3	2	2	33	45
				4120	4	4	3	3	3	2	2	32	45
				4098	4	3	3	3	3	2	2	33	45
Externa	fissura	222E	44	4091	4	4	3	3	3	2	2	32	46
				4077	4	3	3	3	3	2	2	33	46
				4084	4	3	3	3	3	2	2	33	46
Externa	centro	133E	45	4026	4	3	3	3	3	3	2	32	45
				4041	4	4	3	2	3	3	2	32	44
				4041	4	3	3	2	3	3	2	32	44
Externa	borda	132E/233E	46	4084	4	4	4	3	3	3	3	32	44
				4070	4	4	4	3	3	3	3	32	43
				4070	4	4	4	3	3	3	3	32	43

Tabela 5.11 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004Pátio do TPS-2 (IEME Brasil, 2004).

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)							Temperatura	
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C
Externa	centro	335E	18	4098	7	7	7	7	7	6	5	34	52
				4120	7	7	7	7	7	6	6	34	51
				4091	7	7	7	7	7	6	6	34	51
Externa	centro	435E	19	4062	4	4	4	4	4	3	3	34	50
				4026	3	4	4	4	4	3	3	34	50
				4062	4	4	4	4	4	3	3	34	50
Externa	borda	427C/527E	20	4156	4	4	3	2	3	2	2	35	50
				4142	4	4	3	2	3	2	2	35	50
				4156	4	4	3	2	3	2	2	35	50
Externa	centro	118E	21	4127	6	5	5	4	5	4	4	35	50
				4142	5	5	5	4	5	4	4	35	50
				4127	6	6	5	4	5	4	4	35	50
Externa	borda	522E/422E	22	4134	4	4	4	4	3	3	3	35	51
				4120	4	4	4	4	3	3	3	35	51
				4127	4	4	4	3	3	3	3	35	50
Externa	centro	422E	23	4091	5	5	5	4	4	4	3	34	50
				4091	5	5	5	4	4	4	3	34	50
				4098	5	5	5	4	4	3	3	34	50
Externa	borda	419E/519E	24	4149	4	4	3	3	3	3	2	35	52
				4120	4	4	3	3	3	3	2	35	51
				4149	4	4	3	3	3	3	2	34	51
Externa	centro	519	25	4084	6	5	5	4	5	4	3	34	49
				4084	6	6	5	4	5	4	3	34	49
				4084	6	5	5	4	5	4	4	34	49
Frontal	borda	614/714	26	4098	4	4	4	4	3	3	2	34	48
				4113	4	4	4	3	3	3	2	34	48
				4098	5	4	4	3	3	3	2	34	48
Frontal	centro	714	27	4120	6	6	6	5	5	4	4	34	46
				4084	6	5	5	5	5	4	4	35	46
				4077	6	6	6	5	5	4	4	34	46
Interna	fissura	415W	28	4026	4	4	4	4	3	3	3	34	53
				4041	4	4	4	4	3	3	3	33	53
				4062	4	4	4	4	3	3	3	33	52
Interna	borda	415W/515W	29	4048	6	5	5	4	4	3	3	33	50
				4077	6	5	5	4	4	4	3	33	50
				4077	6	5	5	4	4	3	3	33	49
Interna	borda	323W	30	4084	4	4	4	4	3	3	3	33	50
				4098	4	4	4	4	3	3	3	33	49
				4120	4	4	4	4	3	3	3	33	49
Interna	centro	323W/423W	31	4127	6	5	5	4	4	3	3	33	48
				4120	6	5	5	5	4	3	3	33	48
				4127	6	5	5	4	4	3	3	33	47
Interna	centro	527W	32	4077	5	4	4	4	4	3	3	33	50
				4120	5	4	4	4	4	3	3	33	50
				4149	5	4	4	4	4	3	3	33	50
Externa	centro	422E	33	4134	4	4	4	4	3	3	2	33	50
				4149	5	4	4	4	3	3	2	33	49
				4142	5	4	4	4	3	3	3	33	49

Tabela 5.12 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio Remoto 1 (IEME Brasil, 2004)

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)							Temperatura	
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C
Interna	centro	-	47	4091	4	3	3	3	3	3	2	32	43
				4077	4	3	3	3	3	3	2	32	43
				4106	4	3	3	3	3	3	2	32	43
Interna	borda	-	48	4098	5	4	4	4	3	3	2	32	43
				4098	5	5	4	4	3	3	2	32	43
				4098	6	5	4	4	3	3	2	32	43
Interna	fissura	-	49	4106	4	3	3	3	2	2	2	33	43
				4062	4	3	3	3	2	2	2	32	43
				4084	4	3	3	3	2	2	2	32	43
Interna	centro	-	50	4084	4	4	4	4	3	3	3	32	43
				4098	4	4	4	4	3	3	2	32	43
				4098	5	4	4	4	3	3	2	32	43
Interna	borda	-	51	4156	5	4	4	4	3	3	2	32	43
				4134	5	4	4	4	3	3	2	32	43
				4127	5	4	4	4	3	3	2	32	43
Interna	fissura	-	52	4034	4	4	3	3	3	3	2	32	42
				4034	4	4	3	3	3	3	2	32	43
				4026	4	4	3	3	3	3	2	32	43
Externa	centro	-	53	4084	6	5	5	5	4	4	4	31	41
				4077	6	5	5	5	4	4	4	31	41
				4084	6	5	5	5	4	4	4	31	40
Externa	borda	107W/207W	54	4106	4	3	3	3	2	2	2	31	40
				4106	4	3	3	3	2	2	2	31	40
				4077	4	3	3	3	2	2	2	31	40
Externa	fissura	207W	55	4077	4	3	3	3	3	3	2	31	41
				4077	4	3	3	3	3	3	2	31	41
				4070	4	3	3	3	3	3	2	31	41
Externa	centro	124W	56	4091	4	4	4	4	3	3	3	30	41
				4062	4	4	4	4	3	3	3	30	41
				4055	4	4	4	4	3	3	3	30	41
Externa	borda	124W/224W	57	4084	5	4	4	4	3	3	2	30	41
				4091	5	4	4	4	3	3	2	30	41
				4091	5	4	4	3	3	3	2	30	41
Externa	fissura	224W	58	4062	4	4	3	3	3	3	2	30	42
				4098	4	4	3	3	3	3	2	30	41
				4062	4	4	3	3	3	3	2	30	41
Externa	centro	870W	59	4041	4	4	4	3	3	3	2	29	41
				4062	4	4	4	3	3	3	2	29	41
				4062	4	4	4	3	3	3	2	29	41
Externa	borda	870W	60	4084	4	4	3	3	3	3	2	29	40
				4055	4	4	3	3	3	3	2	29	40
				4077	4	3	3	3	3	3	2	29	40
Externa	fissura	-	61	4062	4	4	3	3	3	3	2	28	40
				4070	4	3	3	3	3	3	2	28	39
				4055	4	3	3	3	3	3	2	28	39

Tabela 5.13 – Levantamento Deflectométrico 27/11/2004 - Pátio Remoto 2 (IEME Brasil, 2004)

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)							Temperatura	
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C
Externa	centro	637E	11	4177	5	5	4	4	4	3	3	34	50
				4199	5	5	4	4	4	3	3	34	50
				4228	5	5	4	4	4	3	3	34	49
Externa	borda	4234E/334E	2	4134	4	4	4	4	3	3	3	34	50
				4142	4	4	4	4	3	3	3	34	49
				4156	4	4	4	4	3	3	3	33	49
Externa	borda	332F/432E	3	4185	5	4	4	3	3	3	2	33	52
				4192	5	4	4	3	3	2	2	33	52
				4185	5	4	4	3	3	2	2	34	52
Externa	borda	319/419E	4	4177	4	4	3	3	3	3	2	33	49
				4213	4	3	3	3	3	2	2	33	49
				4185	4	3	3	3	3	3	2	33	48
Externa	centro	427E	5	4156	6	5	5	5	4	4	3	34	52
				4163	5	5	5	5	4	4	3	33	52
				4249	6	5	5	5	4	4	3	34	52
Externa	borda	430E/330E	6	4156	5	4	4	3	3	3	2	34	51
				4120	4	4	4	3	3	3	2	34	51
				4091	4	4	4	3	3	3	2	34	51
Externa	centro	816E	7	4170	5	4	4	4	4	3	3	35	53
				4134	5	4	4	4	4	3	3	34	53
				4185	5	4	4	4	4	3	3	34	53
Externa	borda	410E/310E	8	4163	9	9	9	8	8	8	7	33	49
				4142	9	8	8	8	8	8	8	34	50
				4192	9	9	9	8	8	8	8	34	50
Frontal	centro	410E/310E	9	4106	9	7	7	7	6	6	5	34	50
				4134	9	7	7	7	6	6	5	34	50
				4113	9	7	7	7	6	6	5	34	50
Frontal	centro	120S	10	4134	5	5	4	3	3	3	2	34	50
				4134	5	4	4	3	3	2	3	33	50
				4106	6	5	4	3	3	2	2	34	49
Frontal	fissura	112S	11	4170	6	5	5	5	4	4	3	34	51
				4156	5	5	5	4	4	4	3	34	51
				4149	5	5	5	5	4	4	3	34	51
Interna	fissura	408W	12	4062	6	5	5	4	4	4	3	34	49
				4077	5	5	5	4	4	4	3	34	49
				4091	6	5	4	4	4	4	3	33	48
Interna	fissura	414W	13	4062	5	3	3	3	3	3	2	33	53
				4084	5	3	3	3	3	3	2	33	52
				4091	5	4	3	3	3	3	2	33	51
Interna	centro	322	14	4120	5	4	4	4	4	3	3	34	51
				4149	5	4	4	4	4	3	3	33	51
				4134	5	4	4	4	4	3	3	34	50
Interna	borda	332W/422W	15	4156	4	3	3	2	2	2	1	34	49
				4156	4	3	3	3	2	2	1	33	49
				4177	4	3	3	2	2	2	2	33	49
Interna	fissura	831W	16	4134	4	4	4	3	3	3	2	33	50
				4149	5	4	4	3	3	3	2	34	50
				4170	5	4	4	3	3	3	2	34	49
Interna	borda	831W/931W	17	4185	4	3	3	3	3	2	2	33	49
				4142	4	3	3	3	3	2	2	34	49
				4163	4	3	3	3	3	2	2	33	49

Tabela 5.14 – Levantamento Deflectométrico – Terminal de Carga (IEME Brasil, 2004).

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)							Temperatura	
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C
Centro	-	880W	62	4062	4	3	3	3	3	2	2	28	37
				4091	4	3	3	3	3	2	2	28	37
				4062	4	3	3	3	3	2	2	28	37
Interna	fissura	408W	63	4106	5	4	4	4	3	3	2	27	37
				4084	5	4	4	4	3	3	2	27	37
				4077	5	4	4	4	3	3	2	27	37
Interna	fissura	414W	64	4084	4	4	4	4	3	3	2	27	37
				4048	4	4	4	4	3	3	2	27	36
				4055	5	4	4	4	3	3	2	27	36

5.1.3 Determinação dos Parâmetros para Subleito e Pavimento

As Tabelas 5.15 a 5.19 apresentam as retroanálises realizadas para a determinação dos parâmetros: módulo de reação do subleito, raio de rigidez relativa, AREA e módulo de elasticidade do concreto.

Com base nos valores determinados, pode-se concluir que:

- Os valores de módulo de reação do subleito em grande parte permanecem elevados variando entre 7,6 e 535,5 MPa/m, o que se espera para condições adequadas de suporte, considerando bom estado de compactação de subleitos de integridade da base do pavimento em BGTC. Não há sinais evidentes de fadiga da camada de base tendo em vista as respostas adequadas;
- Em alguns casos, os valores de módulo de elasticidade do concreto retroanalizados, para placas aparentemente íntegras ou novas, mostraram-se dentro de limites aceitáveis. Porém, mesmo em placas do TPS 1, Remota 1 e Terminal de Cargas, que aparentemente apresentavam-se íntegras, é possível observar valores bastante baixos de módulo de elasticidade, o que, tendo em vista manifestações primárias de placas com fissuras em mapa na superfície, denotam a degradação do concreto, muito

provavelmente devido à RAA, que nesses terminais estaria ocorrendo de maneira mais paulatina.

- Os valores mais desfavoráveis obtidos para E, foram sistematicamente encontrados Pátio Remoto 2 (nas placas 9, 10, 14, 15 e 17), TPS 1 (nas placas 34, 37 e 38) e 2 (nas placas 31 e 32), correspondentes ao plaqueamento mais antigo.

Tabela 5.15 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Terminal de Cargas – TECA.

Local	Posição	Código	Placa nº	Deflexões (0,01 mm)												Temperatura							AREA	R. Rigidez Relativa (pol)	k (psi/pol)	E (psi)	E (MPa)						
				Força																													
				D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₈₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₈₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar	°C						Pav.	°C				
Centro	-	880W	62	4062	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1.009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	27,0	24,5	1145	1.236.500				
				4081	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1.002	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	27,0	24,5	1161	1.254.218	1.242.406	8735
				4062	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1.009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	27,0	24,5	1145	1.236.500		

Tabela 5.16 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio do TPS-1.

Local	Postção	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)																R. Rigidez Relativa (pol)	k (psi/pol)	E (psi)	E (MPa)			
					Temperatura																						
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C					Pav. °C		
Externa	centro	128 E	34	4062	4	3	3	3	3	2	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48		19,2	1843	748.330	
				4062	4	3	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	48		19,2	1843	748.330	749.314
				4070	4	3	3	3	3	2	2	1,007	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	48		19,2	1850	751.281	5.268
Externa	borda	128E/228E	35	4134	4	3	3	2	2	2	2	2	0,992	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47					
				4156	3	3	3	2	2	2	2	0,987	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47					
				4134	4	3	3	2	2	2	2	0,992	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	35	47					
Externa	fissura	228E	36	4134	3	2	2	2	2	2	2	2	0,992	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47					
				4127	3	2	2	2	2	2	1	0,993	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	34	47					
				4149	3	2	2	2	2	2	2	0,988	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47						
Externa	centro	118E	37	4077	4	3	3	3	3	2	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	48		24,5	1153	1.245.649	
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	47		24,5	1178	1.272.063	1.263.258	
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	47		24,5	1178	1.272.063	8.882	
Externa	centro	118E/218E	38	4098	4	3	3	3	3	2	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46		24,5	1165	1.253.514	
				4098	4	3	3	3	3	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46		24,5	1165	1.253.514	8.870	
				4113	4	3	3	3	3	2	2	0,997	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46		24,5	1174	1.267.744		
Externa	fissura	218E	39	4077	4	3	2	2	2	2	2	2	1,006	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	46					
				4070	4	3	2	2	2	2	2	1,007	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	33	46						
				4091	4	3	2	2	2	2	2	1,002	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	46						
Frontal	centro	110	40	4026	5	5	5	5	4	4	3	3	1,018	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43		49,2	226	4.004.435	
				3988	5	5	5	5	4	4	3	1,026	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43		49,2	223	3.948.929	3.972.044	
				4005	5	5	5	4	4	3	3	1,024	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	34	43		49,2	224	3.962.769	27.927	
Frontal	borda	110/210	41	4106	5	5	5	4	4	3	3	3	0,999	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43					
				4091	5	5	5	4	4	3	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43						
				4120	5	5	5	4	4	3	3	0,995	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43						
Externa	centro	112E	42	4041	4	3	3	3	3	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46		28,4	847	1.655.540	
				4041	4	3	3	3	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46		28,4	847	1.655.540	11.736	
				4091	4	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46		28,4	868	1.696.762	1.669.280	
Externa	borda	112E/222E	43	4091	4	4	3	3	3	3	2	2	1,002	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	32	45					
				4120	4	4	3	3	3	2	2	0,995	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	45						
				4098	4	3	3	3	3	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	45						
Externa	fissura	222E	44	4091	4	4	3	3	3	2	2	2	1,002	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	46					
				4077	4	3	3	3	3	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46						
				4084	4	3	3	3	3	2	2	1,004	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46						
Externa	centro	133E	45	4026	4	3	3	3	3	3	3	2	1,018	4,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,0	32	45		28,4	841	1.643.272		
				4041	4	4	3	2	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44		28,4	847	1.655.540	11.611	
				4041	4	3	3	2	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44		28,4	847	1.655.540		
Externa	borda	132E/233E	46	4084	4	4	4	3	3	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	32	44						
				4070	4	4	4	3	3	3	3	1,007	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	32	43						
				4070	4	4	4	3	3	3	3	1,007	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	32	43						

Tabela 5.17 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio do TPS-2.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												AREA	R. Rigidez Relativa (psi)	k (psi/poi)	E (psi)	E (MPa)
					D ₀	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₇₀	D ₈₀	D ₉₀	D ₁₀₀	D ₁₁₀	D ₁₂₀	Ar	PaV			
Externa	centro	335E	18	4088	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	35,1	122	27	18.428.172	129.882
				4120	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	35,1	122	28	18.626.566	18.473.336
				4081	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	35,1	122	27	18.365.270	
Externa	centro	435E	19	4062	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	34,5	88	91	16.258.302	113.908
				4026	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	34,5	88	90	15.971.396	
				4062	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	34,5	88	92	16.374.375	
Externa	borda	427C/527E	20	4156	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	50			
				4142	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	50			
				4156	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	50			
Externa	centro	118E	21	4127	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0	34	417	1.641.674	49.307
				4142	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	34,8	100	58	17.755.931	7.013.093
				4127	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	30,0	34	417	1.641.674	
Externa	borda	522E/422E	22	4134	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	51			
				4120	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	51			
				4127	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	50			
Externa	centro	422E	23	4091	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	32,4	49	234	4.134.783	25.777
				4081	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	32,4	49	234	4.134.783	
				4098	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	31,2	40	354	2.729.271	
Externa	borda	419E/519E	24	4149	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	52			
				4120	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	51			
				4149	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	35	51			
Externa	centro	519	25	4084	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0	34	409	1.607.642	11.303
				4084	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	30,0	34	409	1.607.642	
				4084	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0	34	409	1.607.642	
Frontal	borda	614/714	26	4088	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48				
				4113	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48				
				4088	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48				
Frontal	centro	714	27	4120	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	32,0	46	229	3.005.002	17.706
				4084	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0	34	409	1.607.642	
				4077	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	32,0	46	225	2.942.603	
Interna	fissura	415W	28	4026	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
				4041	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
				4062	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
Interna	borda	115W/515V	29	4048	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0				
				4077	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0				
				4077	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30,0				
Interna	borda	323W	30	4084	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
				4088	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
				4120	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
Interna	centro	423W/423V	31	4127	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	27,0	24	788	850.926	5.976
				4127	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	27,0	24	788	848.042	
				4077	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	28,8	29	647	1.440.278	10.318
Externa	centro	422E	33	4149	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	31,5	42	410	3.820.863	13.281
				4134	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	28,1	23	1061	924.679	
				4142	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	26,4	23	1058	921.562	

Tabela 5.18 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio Remoto 1.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												ÁREA	R. Rigidez Relativa (poi)			k (psi/pol)	E (psi)	E (MPa)			
					D ₄	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₇₅	K	D ₀	D ₁₅	Temperatura												
														0	20	30		45	60	90				120	Ar	Pav.
Interna	centro	-		4091	4	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43		868	1.696.762				
				4077	4	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	28	862	1.685.168	11.932			
				4106	4	3	3	3	3	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	28,5	869	1.697.052				
																			875	1.709.227						
Interna	borda	-		4098	5	4	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43						
				4098	5	5	4	4	3	3	2	1,000	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43						
				4098	6	5	4	4	3	3	2	1,000	6,0	5,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43						
				4106	4	3	3	3	3	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	43						
Interna	fissura	-		4082	4	3	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	43						
				4082	4	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	43							
				4084	4	3	3	3	2	2	1,004	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	43							
				4084	4	4	4	4	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	32	43	31,5	400	3.728.997			
Interna	centro	-		4098	4	4	4	4	4	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43	31,5	400	3.728.997		
				4098	5	4	4	4	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43	31,5	403	3.754.607	19.653		
				4098	5	4	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43	29,8	613	2.795.230			
				4134	5	4	4	4	3	3	2	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43	23	1.035	902.086			
Interna	borda	-		4156	5	4	4	4	4	3	3	2	0,987	4,9	3,9	3,9	3,9	3,0	2,0	32	43					
				4134	5	4	4	4	3	3	2	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43						
				4127	5	4	4	4	3	3	2	0,993	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	32	43						
Interna	fissura	-		4034	4	4	3	3	3	3	2	1,016	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	42						
				4034	4	4	3	3	3	3	2	1,016	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43						
				4028	4	4	3	3	3	3	2	1,018	4,1	4,1	3,1	3,1	3,1	2,0	32	43						
				4084	6	5	5	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,1	41	28,0	639	1.014.274				
Externa	centro	-		4077	6	5	5	5	4	4	4	1,006	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	31	41	27	639	1.014.274			
				4077	6	5	5	5	4	4	1,006	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	31	41	27	637	1.010.800	1.013.116	7.123		
				4084	6	5	5	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	31	40	28,0	639	1.014.274				
Externa	borda	107W/207W		4106	4	3	3	3	3	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	31	40						
				4106	4	3	3	3	3	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	31	40						
				4077	4	3	3	3	3	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	31	40						
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	31	40						
Externa	fissura	207W		4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41						
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41						
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41						
				4070	4	3	3	3	3	3	2	1,007	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41						
Externa	centro	124W		4091	4	4	4	4	4	3	3	1,002	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41	31,5	402	3.741.791			
				4082	4	4	4	4	3	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41	31,5	396	3.688.930	3.702.316	26.030	
				4055	4	4	4	4	4	3	3	1,011	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41	31,5	395	3.676.227			
				4084	5	4	4	4	3	3	2	1,004	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41						
Externa	borda	124W/224W		4091	5	4	4	4	4	3	3	2	1,002	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	30	41					
				4091	5	4	4	4	3	3	2	1,002	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41						
				4082	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	42						
				4098	4	4	3	3	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41						
Externa	fissura	224W		4082	4	4	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41						
				4082	4	4	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	30	41						
				4041	4	4	4	4	3	3	2	1,015	4,1	4,1	4,1	4,1	3,0	3,0	2,0	29	41	31,5	392	3.650.886		
				4082	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	29	41	31,5	396	3.688.930	3.676.249	25.847
Externa	centro	870W		4082	4	4	4	4	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	29	41	31,5	395	3.688.930		
				4084	4	4	3	3	3	3	2	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	29	40					
				4055	4	4	3	3	3	3	2	1,011	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	29	40					
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	29	40					
Externa	borda	870W		4082	4	4	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	28	40					
				4070	4	4	3	3	3	3	2	1,007	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	28	39						
				4055	4	3	3	3	3	3	2	1,005	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	28	38						

Tabela 5.19 – Valores de k (Módulo de reação do subleito) e E (Módulo de elasticidade) retroanalizados do Pátio Remoto 2..

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												ÁREA	R. Rigidez Relativa (poi)	k (psi/poi)	E (psi)	E (MPa)				
					D ₀	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₇₀	D ₈₀	D ₉₀	D ₁₀₀	D ₁₁₀	D ₁₂₀						Temperatura Ar °C	Temperatura Pav. °C		
Externa	centro	637E	11	4177	5	5	4	4	4	3	3	0,982	4,9	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50	1.511.799	1.529.502	10.754		
				4199	5	5	4	4	4	3	3	0,976	4,9	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50	1.527.766				
				4228	5	5	4	4	4	3	3	0,970	4,8	4,8	3,9	3,9	2,9	2,9	34	49	1.548.941				
Externa	borda	4234E/334E	2	4134	4	4	4	4	4	3	3	0,992	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50					
				4142	4	4	4	4	4	3	3	0,990	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	34	49				
				4156	4	4	4	4	4	3	3	0,987	3,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	33	49					
Externa	borda	332F/432E	3	4185	5	4	4	4	3	3	2	0,980	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	33	52					
				4192	5	4	4	4	3	3	2	0,978	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	33	52					
				4185	5	4	4	4	3	3	2	0,980	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	34	52					
Externa	borda	319/419E	4	4177	4	4	3	3	3	3	2	0,982	3,9	3,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	49					
				4213	4	3	3	3	3	3	2	0,973	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	1,9	33	49					
				4185	4	3	3	3	3	3	2	0,980	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	48					
Externa	centro	427E	5	4163	6	5	5	5	4	4	3	0,987	5,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,0	34	52	1.050.352	2.143.281	15.069		
				4156	5	5	5	5	4	4	3	0,985	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,0	33	52	4.281.605				
				4249	6	5	5	5	4	4	3	0,965	5,8	4,8	4,8	4,8	3,9	2,9	34	52	1.097.886				
Externa	borda	430E/330E	6	4156	5	4	4	4	3	3	3	2	0,987	4,9	3,9	3,9	3,0	3,0	2,0	34	51				
				4120	4	4	4	4	3	3	3	2	0,995	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	51			
				4091	4	4	4	3	3	3	2	1,002	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	51					
Externa	centro	816E	7	4170	5	4	4	4	4	4	3	0,983	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	35	53	1.506.736	1.501.721	10.558		
				4134	5	4	4	4	4	3	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	53	28,8				
				4185	5	4	4	4	4	3	3	0,980	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	53	28,8				
Externa	borda	410E/310E	8	4163	9	9	9	8	8	8	7	0,985	8,9	8,9	8,9	7,9	7,9	6,9	33	49					
				4142	9	8	8	8	8	8	8	0,980	8,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	34	50					
				4192	9	9	9	8	8	8	8	0,978	8,8	8,8	8,8	7,8	7,8	7,8	34	50					
Frontal	centro	410E/310E	9	4106	9	7	7	7	6	6	5	0,999	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	50	34	50	27,3			
				4134	9	7	7	7	6	6	5	0,992	8,9	6,9	6,9	6,9	6,0	6,0	50	34	50	27,3			
				4113	9	7	7	7	6	6	5	0,997	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	50	34	50	27,3			
Frontal	centro	120S	10	4134	5	5	4	3	3	3	2	0,992	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	50	26,4				
				4134	5	4	4	3	3	3	2	0,992	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50	25,2				
				4106	6	5	4	3	3	2	2	0,999	6,0	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	49	22,0				
Frontal	fissura	112S	11	4170	6	5	5	5	4	4	3	0,983	5,9	4,9	4,9	4,9	3,9	2,9	34	51					
				4156	5	5	5	4	4	4	3	0,987	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,0	34	51					
				4149	5	5	5	4	4	4	3	0,988	4,9	4,9	4,9	4,9	4,0	4,0	34	51					
Interna	fissura	408W	12	4062	6	5	5	4	4	4	3	1,009	6,1	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	34	49					
				4077	5	5	5	4	4	4	3	1,006	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	30	34	49				
				4091	6	5	4	4	4	4	3	1,002	6,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	30	33	48				
Interna	fissura	414W	13	4062	5	3	3	3	3	3	2	1,009	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	53					
				4084	5	3	3	3	3	3	2	1,004	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	52					
				4091	5	4	3	3	3	3	2	1,002	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	51					
Interna	centro	322	14	4120	5	4	4	4	4	4	3	0,995	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	51	28,8				
				4149	5	4	4	4	4	4	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	28,8				
				4134	5	4	4	4	4	4	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	28,8				
Interna	borda	332W/422W	15	4156	4	3	3	2	2	2	1	0,987	3,9	3,0	3,0	2,0	2,0	1,0	34	49	24,0				
				4156	4	3	3	2	2	2	2	0,982	3,9	2,9	2,9	2,0	2,0	2,0	33	49	24,0				
				4177	4	3	3	2	2	2	2	0,982	3,9	2,9	2,9	2,0	2,0	2,0	33	49	24,0				
Interna	fissura	831W	16	4134	4	4	4	3	3	3	2	0,992	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50					
				4149	5	4	4	3	3	3	2	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	50				
				4170	5	4	4	3	3	3	2	0,983	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	34	49					
Interna	borda	331W/931W	17	4185	4	3	3	3	3	3	2	0,980	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	49	27,0				
				4142	4	3	3	3	3	3	2	0,990	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	34	49	27,0				
				4163	4	3	3	3	3	3	2	0,985	3,9	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	49	27,0				

5.1.4 Eficiência da Transferência de Carga (LTE)

Sendo as deflexões aquelas medidas antes e depois da junta transversal ou fissura para uma carga de FWD aplicada nas proximidades da mesma junta ou fissura, nas Tabelas 5.20 a 5.24 são enumerados os resultados médios sobre a eficiência de transferência de cargas obtidos, considerando: $\geq 90\%$ a LTE é considerada adequada; ≤ 60 até 90% , regular e $< 60\%$ é inadequada, concluiu-se que:

- Não há problemas de má resposta estrutural, nem mesmo em área de fissura;
- Não se suspeita de presença de vazios sob as juntas ou fissuras, denotando boa transferência de carga mesmo em locais sem barras de transferência, o que se faz por intertravamento adequado entre as faces na fissura e por presença de base rígida em boas condições estruturais;
- As bordas apresentam melhor condição de transferência de cargas que as fissuras, embora estas últimas preservem valores adequados.

Os níveis de severidade mais elevada do defeito se manifestam com a evidência ou sinais de expansão do concreto nas placas e posterior desagregação pela formação de lamelas na superfície do concreto, o que ainda não havia ocorrido no momento dos levantamentos.

Tabela 5.20 – Determinação da LTE para o Pátio do Terminal de Cargas – TECA.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												Temperatura		LTE			
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀		D ₁₂₀	Ar	°C Pav.
Centro	-	880W	62	4062	4	3	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	-
				4091	4	3	3	3	3	2	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	-
				4062	4	3	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	28	37	-
4	fissura	408W	63	4106	5	4	4	4	3	3	2	0,999	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	27	37	80,0%
				4084	5	4	4	4	3	3	2	1,004	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	27	37	80,0%
				4077	5	4	4	4	3	3	2	1,006	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	27	37	80,0%
Interna	fissura	414W	64	4084	4	4	4	4	3	3	2	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	27	37	100,0%
				4048	4	4	4	4	3	3	2	1,013	4,1	4,1	4,1	4,1	3,0	3,0	2,0	27	36	100,0%
				4055	5	4	4	4	3	3	2	1,011	5,1	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	27	36	80,0%

Tabela 5.21 – Determinação da LTE para o Pátio do TPS-1

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												Temperatura		LTE				
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀		D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C	
Externa	centro	128 E	34	4062	4	3	3	3	2	2	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48	
				4062	4	3	3	3	2	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48		
				4070	4	3	3	3	2	2	2	1,007	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	48		
Externa	borda	128E/228E	35	4134	4	3	3	3	2	2	2	2	0,992	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47	50,0%
				4156	3	3	3	2	2	2	2	0,987	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47	66,7%	
				4134	4	3	3	2	2	2	2	0,992	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	35	47	50,0%	
Externa	fissura	228E	36	4134	3	2	2	2	2	2	2	2	0,992	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47	66,7%
				4127	3	2	2	2	2	2	1	0,993	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	34	47	66,7%	
				4149	3	2	2	2	2	2	2	0,988	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	47	66,7%	
Externa	centro	118E	37	4077	4	3	3	3	3	2	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48	
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	33	47		
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	47		
Externa	centro	118E/218E	38	4098	4	3	3	3	3	2	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	46	
				4098	4	3	3	3	3	2	2	0,997	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46		
				4113	4	3	3	3	3	2	2	0,997	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46		
Externa	fissura	218E	39	4077	4	3	2	2	2	2	2	2	1,006	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	46	50,0%
				4070	4	3	2	2	2	2	2	1,007	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	33	46	50,0%	
				4091	4	3	2	2	2	2	2	1,002	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	46	50,0%	
Frontal	centro	110	40	4026	5	5	5	5	4	4	3	1,018	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43		
				3998	5	5	5	5	4	4	3	1,026	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43		
				4005	5	5	5	5	4	4	3	1,024	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	34	43		
Frontal	borda	110/210	41	4106	5	5	5	5	4	4	3	0,999	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43	80,0%	
				4091	5	5	5	5	4	4	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43	80,0%	
				4120	5	5	5	5	4	4	3	0,995	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	43	80,0%	
Externa	centro	112E	42	4041	4	3	3	3	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46		
				4041	4	4	3	3	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46		
				4091	4	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46		
Externa	borda	112E/222E	43	4091	4	4	3	3	3	2	2	1,002	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	45	75,0%	
				4120	4	4	3	3	3	2	2	0,995	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	45	75,0%	
				4098	4	3	3	3	3	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	45	75,0%	
Externa	fissura	222E	44	4091	4	4	3	3	3	2	2	1,002	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	32	46	75,0%	
				4077	4	3	3	3	3	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46	75,0%	
				4084	4	3	3	3	3	2	2	1,004	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	46	75,0%	
Externa	centro	133E	45	4026	4	3	3	3	3	3	2	1,018	4,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,0	2,0	32	45		
				4041	4	4	3	2	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44		
				4041	4	3	3	2	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44		
Externa	borda	132E/233E	46	4084	4	4	4	3	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	32	44	75,0%	
				4070	4	4	4	3	3	3	3	1,007	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	32	43	75,0%	
				4070	4	4	4	3	3	3	3	1,007	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	32	43	75,0%	

Tabela 5.22 – Determinação da LTE para o Pátio do TPS-2.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0.01 mm)												Temperatura			LTE		
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀		Ar	Pav. °C
Externa	centro	335E	18	4098	7	7	7	7	7	6	5	1,000	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0	34	52	
				4120	7	7	7	7	7	6	6	0,995	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	34	51	
				4091	7	7	7	7	7	6	6	1,002	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	34	51	
Externa	centro	435E	19	4062	4	4	4	4	4	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	
				4026	4	4	4	4	4	3	3	1,018	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	3,1	3,1	34	50	
				4062	4	4	4	4	4	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	
Externa	borda	427C/527E	20	4156	4	4	3	2	3	2	2	0,987	3,9	3,9	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	35	50	50,0%
				4142	4	4	3	2	3	2	2	0,990	4,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	35	50	50,0%
				4156	4	4	3	2	3	2	2	0,987	3,9	3,9	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	35	50	50,0%
Externa	centro	118E	21	4127	6	5	5	4	5	4	4	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	35	50	
				4127	6	6	5	4	5	4	4	0,990	4,9	4,9	4,9	4,0	4,9	4,0	4,0	35	50	
				4134	4	4	4	4	3	3	3	0,992	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	35	51	100,0%
Externa	borda	522E/422E	22	4120	4	4	4	4	3	3	3	0,995	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	35	51	100,0%
				4127	4	4	4	3	3	3	3	0,993	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	35	50	75,0%
				4091	5	5	5	4	4	4	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	
Externa	centro	422E	23	4091	5	5	5	4	4	4	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	
				4098	5	5	5	4	4	3	3	1,000	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	
				4149	4	4	3	3	3	3	2	0,988	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	35	52	75,0%
Externa	borda	419E/519E	24	4120	4	4	3	3	3	3	2	0,995	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	35	51	75,0%
				4149	4	4	3	3	3	3	2	0,988	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	51	75,0%
				4084	6	5	5	4	5	4	3	1,004	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	34	49	
Externa	centro	519	25	4084	6	6	5	4	5	4	3	1,004	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	34	49	
				4084	6	5	5	4	5	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	34	49	
				4098	4	4	4	4	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	48	100,0%
Frontal	borda	614/714	26	4113	4	4	4	4	3	3	2	0,997	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	48	75,0%	
				4098	5	4	4	3	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	48	60,0%	
				4120	6	6	5	5	5	4	4	0,995	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	34	46	
Frontal	centro	714	27	4084	6	5	5	5	5	4	4	1,004	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	35	46	
				4077	6	6	6	5	5	4	4	1,006	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	34	46	
				4026	4	4	4	4	3	3	3	1,018	4,1	4,1	4,1	4,1	3,1	3,1	3,1	34	53	100,0%
Interna	fissura	415W	28	4041	4	4	4	4	3	3	3	1,015	4,1	4,1	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	33	53	100,0%
				4062	4	4	4	4	3	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	33	52	100,0%
				4048	6	5	5	4	4	3	3	1,013	6,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,0	3,0	33	50	66,7%
Interna	bordo	415W/515W	29	4077	6	5	5	4	4	4	3	1,006	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	66,7%
				4077	6	5	5	4	4	3	3	1,006	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	49	66,7%
				4084	4	4	4	4	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	33	50	100,0%
Interna	borda	323W	30	4098	4	4	4	4	3	3	3	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	33	49	100,0%
				4120	4	4	4	4	3	3	3	0,995	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	33	49	100,0%
				4127	6	5	5	4	4	3	3	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	48	
Interna	centro	323W/423W	31	4120	6	5	5	4	4	3	3	0,995	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	48	
				4127	6	5	5	4	4	3	3	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	47	
				4077	5	4	4	4	4	3	3	1,006	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	
Interna	centro	527W	32	4120	5	4	4	4	4	3	3	0,995	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	
				4149	5	4	4	4	4	3	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	
				4134	4	4	4	4	3	3	2	0,992	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50	
Externa	centro	422E	33	4149	5	4	4	4	4	3	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	49	
				4142	5	4	4	4	3	3	2	0,990	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	49	
				4142	5	4	4	4	3	3	3	0,990	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	49	

Tabela 5.23 – Determinação da LTE para o Pátio Remoto 1

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												Temperatura		LTE				
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀		D ₁₂₀	Ar Pav. °C		
Interna	centro	-	47	4091	4	3	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43		
				4106	4	3	3	3	3	3	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43		
Interna	borda	-	48	4098	5	4	4	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	80,0%
				4098	5	5	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	80,0%	
				4098	6	5	4	4	3	3	2	1,000	6,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	66,7%	
Interna	fissura	-	49	4106	4	3	3	3	3	2	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	33	43	75,0%
				4062	4	3	3	3	3	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	32	43	75,0%	
				4084	4	3	3	3	2	2	2	1,004	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	32	43	75,0%	
Interna	centro	-	50	4084	4	4	4	4	4	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	32	43	
				4098	4	4	4	4	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43		
				4098	5	4	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43		
Interna	borda	-	51	4156	5	4	4	4	4	3	3	2	0,987	4,9	3,9	3,9	3,9	3,0	3,0	2,0	32	43	80,0%
				4134	5	4	4	4	4	3	3	2	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	80,0%
				4127	5	4	4	4	4	3	3	2	0,993	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	80,0%
Interna	fissura	-	52	4034	4	4	3	3	3	3	3	2	1,016	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	2,0	32	42	75,0%	
				4034	4	4	3	3	3	3	2	1,016	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	75,0%	
				4026	4	4	3	3	3	3	2	1,018	4,1	4,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,0	32	43	75,0%	
Externa	centro	-	53	4084	6	5	5	5	4	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	41	
				4077	6	5	5	5	4	4	4	4	1,006	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	41	
				4084	6	5	5	5	4	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	40	
Externa	borda	07W/207W	54	4106	4	3	3	3	2	2	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	31	40	75,0%
				4106	4	3	3	3	2	2	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	31	40	75,0%	
				4077	4	3	3	3	2	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	31	40	75,0%	
Externa	fissura	207W	55	4077	4	3	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41	75,0%	
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41	75,0%		
				4070	4	3	3	3	3	3	2	1,007	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	31	41	75,0%	
Externa	centro	124W	56	4091	4	4	4	4	4	3	3	3	1,002	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	
				4062	4	4	4	4	3	3	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	
				4055	4	4	4	4	4	3	3	3	1,011	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	
Externa	borda	24W/224W	57	4084	5	4	4	4	4	3	3	2	1,004	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	30	41	80,0%
				4091	5	4	4	4	3	3	3	2	1,002	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	30	41	60,0%
				4091	5	4	4	3	3	3	2	1,002	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	30	41	75,0%	
Externa	fissura	224W	58	4062	4	4	3	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	30	42	75,0%	
				4098	4	4	3	3	3	3	2	1,000	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	30	41	75,0%	
				4062	4	4	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	30	41	75,0%	
Externa	centro	870W	59	4041	4	4	4	3	3	3	3	2	1,015	4,1	4,1	4,1	3,0	3,0	2,0	29	41		
				4062	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	41		
				4062	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	41		
Externa	borda	870W	60	4084	4	4	3	3	3	3	3	2	1,004	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	40	75,0%	
				4055	4	4	3	3	3	3	2	1,011	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	40	75,0%	
				4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	40	75,0%	
Externa	fissura	-	61	4062	4	4	3	3	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	28	40	75,0%	
				4070	4	3	3	3	3	3	2	1,007	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	28	39	75,0%	
				4055	4	3	3	3	3	3	2	1,011	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	28	39	75,0%	

Tabela 5.24 – Determinação da LTE para o Pátio Remoto 2

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)												Temperatura		LTE				
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀		D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C	
Externa	centro	637E	11	4177	5	5	4	4	4	3	3	3	0,982	4,9	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50		
				4199	5	5	4	4	4	3	3	0,976	4,9	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50			
				4228	5	5	4	4	4	3	3	0,970	4,8	4,8	3,9	3,9	2,9	2,9	34	49			
				4134	4	4	4	4	4	3	3	0,992	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	100,0%		
Externa	borda	1234E/334E	2	4142	4	4	4	4	4	3	3	0,990	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	49	100,0%		
				4156	4	4	4	4	4	3	3	0,987	3,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	33	49	100,0%		
				4185	5	4	4	4	3	3	2	0,980	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	33	52	60,0%		
				4192	5	4	4	4	3	3	2	0,978	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	33	52	60,0%		
Externa	borda	332F/432E	3	4185	5	4	4	4	3	3	2	0,980	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	34	52	60,0%		
				4177	4	4	4	3	3	3	2	0,982	3,9	3,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	49	75,0%		
				4213	4	3	3	3	3	2	0,973	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	1,9	33	49	75,0%			
				4185	4	3	3	3	3	3	2	0,980	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	48	75,0%		
Externa	centro	427E	5	4156	6	5	5	5	4	4	3	0,987	5,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,0	34	52			
				4163	5	5	5	5	4	4	3	0,985	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,0	33	52			
				4249	6	5	5	5	4	4	3	0,965	5,8	4,8	4,8	4,8	3,9	3,0	34	52			
				4156	5	4	4	4	3	3	2	0,987	4,9	3,9	3,9	3,0	3,0	2,0	34	51	60,0%		
Externa	borda	430E/330E	6	4120	4	4	4	4	3	3	2	0,995	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	51	75,0%		
				4091	4	4	4	4	3	3	2	1,002	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	51	75,0%		
				4170	5	4	4	4	4	3	3	0,983	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	35	53			
				4134	5	4	4	4	4	3	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	53			
Externa	centro	816E	7	4185	5	4	4	4	4	4	3	0,980	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	53			
				4163	9	9	9	8	8	8	7	0,985	8,9	8,9	8,9	7,9	7,9	6,9	33	49	88,9%		
				4142	9	8	8	8	8	8	8	0,990	8,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	34	50	88,9%		
				4192	9	9	9	8	8	8	8	0,978	8,8	8,8	8,8	7,8	7,8	7,8	34	50	88,9%		
Frontal	centro	410E/310E	9	4106	9	7	7	7	6	6	5	0,999	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0	34	50			
				4134	9	7	7	7	6	6	5	0,992	8,9	6,9	6,9	6,9	6,0	5,0	34	50			
				4113	9	7	7	7	6	6	5	0,997	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0	34	50			
				4134	5	5	4	3	3	3	2	0,992	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	50			
Frontal	centro	120S	10	4134	5	4	4	4	3	3	2	0,992	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50				
				4106	6	5	4	4	3	3	2	0,999	6,0	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	49			
				4170	6	5	5	5	4	4	3	0,983	5,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	34	51	83,3%		
				4156	5	5	5	4	4	4	3	0,987	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,0	34	51	80,0%		
Frontal	fissura	112S	11	4149	5	5	5	5	4	4	3	0,988	4,9	4,9	4,9	4,0	4,0	3,0	34	51	100,0%		
				4082	6	5	5	4	4	4	3	1,009	6,1	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	34	49	66,7%		
				4077	5	5	5	4	4	4	3	1,006	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	34	49	80,0%		
				4091	6	5	4	4	4	3	3	1,002	6,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	33	48	66,7%		
Interna	fissura	414W	13	4084	5	3	3	3	3	3	2	1,004	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	52	60,0%		
				4091	5	4	3	3	3	3	2	1,002	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	51	60,0%		
				4120	5	4	4	4	4	3	3	0,995	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	51			
				4149	5	4	4	4	4	3	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	33	51			
Interna	centro	322	14	4134	5	4	4	4	4	3	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50			
				4156	4	3	3	2	2	2	1	0,987	3,9	3,0	3,0	2,0	2,0	1,0	34	49	50,0%		
				4156	4	3	3	3	3	2	1	0,987	3,9	3,0	3,0	3,0	2,0	1,0	33	49	75,0%		
				4177	4	3	3	2	2	2	2	0,982	3,9	2,9	2,9	2,0	2,0	2,0	33	49	50,0%		
Interna	fissura	831W	16	4134	4	4	4	4	3	3	2	0,992	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50	75,0%		
				4149	5	4	4	4	3	3	2	0,988	4,9	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	34	50	60,0%		
				4170	5	4	4	3	3	3	2	0,983	4,9	3,9	3,9	2,9	2,9	2,0	34	49	60,0%		
				4185	4	3	3	3	3	2	0,980	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,0	33	49	75,0%			
Interna	borda	331W/931W	17	4142	4	3	3	3	3	2	2	0,990	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	49	75,0%		
				4163	4	3	3	3	3	2	2	0,985	3,9	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	49	75,0%		

As Tabelas 5.25 a 5.29 apresentam o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de E retroanalizados.

Tabela 5.25 – Média dos valores de E para o Pátio do TECA.

Local	Posição	Código	Placa	E (MPa)		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
			nº				
Centro	-	880W	62	8.694	8.735	71,9	0,8
				8.818			
				8.694			

Tabela 5.26 – Média dos valores de E para o Pátio do TPS 1.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)								0 20 30 45 60 90 120								Temperatura		E (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C				
Externa	centro	128 E	34	4062	4	3	3	3	2	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48	5.261	5.268	12,0	0,2
				4062	4	3	3	3	2	2	2	1,009	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	34	48	5.261			
				4070	4	3	3	2	2	2	2	1,007	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	34	48	5.282			
Externa	centro	118E	37	4077	4	3	3	3	3	2	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	48	8.758	8.882	107,2	1,2
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	47	8.944			
				4120	4	3	3	3	3	2	2	0,995	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	47	8.944			
Externa	centro	118E/218E	38	4098	4	3	3	3	3	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46	8.848	8.870	37,5	0,4
				4098	4	3	3	3	3	2	2	1,000	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46	8.848			
				4113	4	3	3	3	3	2	2	0,997	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	46	8.913			
Frontal	centro	110	40	4026	5	5	5	5	4	4	3	1,018	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43	28.154	27.927	203,1	0,7
				3998	5	5	5	5	4	4	3	1,026	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	33	43	27.764			
				4005	5	5	5	5	4	4	3	1,024	5,1	5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	3,1	34	43	27.861			
Externa	centro	112E	42	4041	4	3	3	3	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46	11.640	11.736	167,3	1,4
				4041	4	4	3	3	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46	11.640			
				4091	4	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	33	46	11.930			
Externa	centro	133E	45	4026	4	3	3	3	3	3	2	1,018	4,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,0	32	45	11.553	11.611	49,8	0,4
				4041	4	4	3	2	3	3	2	1,015	4,1	4,1	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44	11.640			
				4041	4	3	3	2	3	3	2	1,015	4,1	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	32	44	11.640			

Tabela 5.27 – Média dos valores de E para o Pátio do TPS 2.

Local	Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)								0 20 30 45 60 90 120								Temperatura		E (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
					D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C				
Externa	centro	335E	18	4098	7	7	7	7	7	6	5	1,000	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0	34	52	129.564	129.882	913	0,7
				4120	7	7	7	7	7	6	6	0,995	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	34	51	130.959			
				4091	7	7	7	7	7	6	6	1,002	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	34	51	129.122			
Externa	centro	435E	19	4062	4	4	4	4	4	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	114.308	113.908	801	0,7
				4026	4	4	4	4	4	3	3	1,018	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	3,1	3,1	34	50	112.291			
				4062	4	4	4	4	4	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	115.124			
Externa	centro	118E	21	4127	6	5	5	4	5	4	4	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	35	50	11.542	49.307	347	0,7
				4142	5	5	5	4	5	4	4	0,990	4,9	4,9	4,9	4,0	4,9	4,0	4,0	35	50	124.838			
				4127	6	6	5	4	5	4	4	0,993	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	35	50	11.542			
Externa	centro	422E	23	4091	5	5	5	4	4	4	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	29.071	25.777	181	0,7
				4091	5	5	5	4	4	4	3	1,002	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	34	50	29.071			
				4098	5	5	5	4	4	3	3	1,000	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	19.189			
Externa	centro	519	25	4084	6	5	5	4	5	4	3	1,004	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	34	49	11.303	11.303	79	0,7
				4084	6	6	5	4	5	4	3	1,004	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	34	49	11.303			
				4084	6	5	5	4	5	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	34	49	11.303			
Frontal	centro	714	27	4120	6	6	6	5	5	4	4	0,995	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	34	46	21.127	17.706	124	0,7
				4084	6	5	5	5	5	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	35	46	11.303			
				4077	6	6	6	5	5	4	4	1,006	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	34	46	20.689			
Interna	centro	323W/423V	31	4127	6	5	5	4	4	3	3	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	48	5.983	5.976	42	0,7
				4120	6	5	5	5	4	3	3	0,995	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	33	48	5.962			
				4127	6	5	5	4	4	3	3	0,993	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	47	5.983			
Interna	centro	527W	32	4077	5	4	4	4	4	3	3	1,006	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	10.126	10.318	73	0,7
				4120	5	4	4	4	4	3	3	0,995	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	10.341			
				4149	5	4	4	4	4	3	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	50	10.487			
Externa	centro	422E	33	4134	4	4	4	4	3	3	2	0,992	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	50	26.864	13.281	93	0,7
				4149	5	4	4	4	3	3	2	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	33	49	6.501			
				4142	5	4	4	4	3	3	3	0,990	4,9	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	33	49	6.479			

Tabela 5.28 – Média dos valores de E para o Pátio Remoto 1.

Posição	Código	Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)								0 20 30 45 60 90 120								Temperatura		E (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
				D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C				
centro	-	47	4091	4	3	3	3	3	3	2	1,002	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	11.930	11.932	84,6	0,7
			4077	4	3	3	3	3	3	2	1,006	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	11.848			
			4106	4	3	3	3	3	3	2	0,999	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	32	43	12.017			
centro	-	50	4084	4	4	4	4	3	3	3	1,004	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	32	43	26.218	19.653	11527,4	58,7
			4098	4	4	4	4	3	3	2	1,000	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	26.398			
			4098	5	4	4	4	3	3	2	1,000	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	32	43	6.342			
centro	-	53	4084	6	5	5	5	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	41	7.131	7.123	14,1	0,2
			4077	6	5	5	5	4	4	4	1,006	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	41	7.107			
			4084	6	5	5	5	4	4	4	1,004	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	31	40	7.131			
centro	124W	56	4091	4	4	4	4	3	3	3	1,002	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	26.308	26.030	244,5	0,9
			4062	4	4	4	4	3	3	3	1,009	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	25.936			
			4055	4	4	4	4	3	3	3	1,011	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	30	41	25.847			
centro	870W	59	4041	4	4	4	3	3	3	2	1,015	4,1	4,1	4,1	3,0	3,0	3,0	2,0	29	41	25.669	25.847	154,4	0,6
			4062	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	41	25.936			
			4062	4	4	4	3	3	3	2	1,009	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	29	41	25.936			

Tabela 5.28 – Média dos valores de E para o Pátio Remoto 2

Placa nº	Força (kgf)	Deflexões (0,01 mm)								0 20 30 45 60 90 120								Temperatura			E (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	K	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	Ar °C	Pav. °C					
11	4177	5	5	4	4	4	3	3	0,982	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50	10.629	10.754	76	0,7	
	4199	5	5	4	4	4	3	3	0,976	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	50	10.741				
	4228	5	5	4	4	4	3	3	0,970	4,8	4,8	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	49	10.890				
5	4156	6	5	5	5	4	4	3	0,987	5,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,0	34	52	7.385	15.069	106	0,7	
	4163	5	5	5	5	4	4	3	0,985	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,0	33	52	30.103				
	4249	6	5	5	5	4	4	3	0,965	5,8	4,8	4,8	4,8	3,9	3,9	2,9	34	52	7.719				
7	4170	5	4	4	4	4	3	3	0,983	4,9	3,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	35	53	10.594	10.558	74	0,7	
	4134	5	4	4	4	4	3	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	53	10.411				
	4185	5	4	4	4	4	3	3	0,980	4,9	3,9	3,9	3,9	3,9	2,9	2,9	34	53	10.670				
9	4106	9	7	7	7	6	6	5	0,999	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	34	50	4.207	4.231	30	0,7	
	4134	9	7	7	7	6	6	5	0,992	8,9	6,9	6,9	6,9	6,0	6,0	5,0	34	50	4.264				
	4113	9	7	7	7	6	6	5	0,997	9,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	34	50	4.221				
10	4134	5	5	4	3	3	3	2	0,992	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	34	50	6.454	4.804	34	0,7	
	4134	5	4	4	3	3	2	3	0,992	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	3,0	33	50	5.260				
	4106	6	5	4	3	3	2	2	0,999	6,0	5,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	49	2.699				
14	4120	5	4	4	4	4	3	3	0,995	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	51	10.341	10.413	73	0,7	
	4149	5	4	4	4	4	3	3	0,988	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	33	51	10.487				
	4134	5	4	4	4	4	3	3	0,992	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	34	50	10.411				
15	4156	4	3	3	2	2	2	1	0,987	3,9	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	34	49	5.508	5.526	39	0,7	
	4156	4	3	3	3	2	2	1	0,987	3,9	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	1,0	33	49	5.508				
	4177	4	3	3	2	2	2	2	0,982	3,9	2,9	2,9	2,0	2,0	2,0	2,0	33	49	5.563				
17	4185	4	3	3	3	3	2	2	0,980	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,0	2,0	33	49	9.228	9.133	64	0,7	
	4142	4	3	3	3	3	2	2	0,990	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	34	49	9.039				
	4163	4	3	3	3	3	2	2	0,985	3,9	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	33	49	9.131				

5.2 Pista Experimental da USP

Quanto à pista experimental da USP, Colim (2009), ao estudar a LTE, concluiu tratar-se de um fenômeno complexo, que avaliando a eficiência de transferência de Carga nas juntas do pavimento de concreto e parametrizando os módulos

estruturais, os valores do módulo de reação do subleito medidos nas bordas das placas são maiores que aqueles medidos nos centros de placas.

Constatou-se que as deflexões dependem de LTE; os pavimentos com bases em CCR aumentam significativamente o módulo de reação do sistema de apoio; este tipo de base é muito favorável à estrutura de pavimento como um todo quando se trata de carregamentos do tráfego, porém, tendem a maiores tensões por empenamento.

5.2.1 Determinação das Características e Propriedades do Concreto

Conforme descrito anteriormente, seis amostras extraídas da pista experimental da USP / FAPESP encaminhadas ao Laboratório de Furnas foram ensaiadas, quanto as suas características mecânicas, e os resultados são apresentados Tabela 5.29.

Tabela 5.29 – Determinação das Resistências e dos Módulos de Elasticidade do Concreto (Fonte: FURNAS, 2013).

REGISTRO FURNAS	CP	Placa	Amostra	f_c (MPa)	E_c (GPa)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)
0999.2013	1	1	A	29,9	22,8	9,5	13
1001.2013	3	2	C	31,4	ND(1)	9,5	10
1002.2013	4	2	D	25,4	33,8	9,5	12
1003.2013	5	3	E	25,1	16,7	9,5	11
1004.2013	6	3	F	29,6	ND(2)	9,5	12

Nota: ND(1)-não determinado em função de fissura detectada; ND(2)-não determinado em função de armadura

Os resultados de resistência à compressão do concreto que em sua construção teve como resultado aos 28 dias 37,6 MPa, ao longo destes anos, apresenta uma queda expressiva para as amostras CP-01, CP-04, CP-05 e CP-06; já o módulo de elasticidade também apresentou queda considerável para as amostras CP-01 e CP-05.

5.2.2 Microscopia Ótica de Luz Transmitida

A análise realizada classificou o agregado como de natureza sedimentar, sendo designados calcários “pretos”. Os agregados graúdos são constituídos quase na sua totalidade por calcita, contendo na forma de traços os opacos além de matéria orgânica conforme pode ser observado nas figuras abaixo.

Figura 28 - (A) Calcário preto formado por calcita de aspecto turvo, provavelmente devido à presença de impregnações de matéria orgânica (1), cortado por veios de calcita de aspecto límpido (setas) (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 29 – (B) Calcário branco de granulação grossa formado por grandes cristais geminados de calcita (1) com interstícios ocupados por calcita e quartzo (qz) de granulação fina. (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 30– (C) e (D) Agregado miúdo representado por quartzo (1) e feldspato (2) em partículas irregulares; poro circular com material fibroso (3). Contato da argamassa com o agregado graúdo (4) e o agregado miúdo sem aparente reação. (Fonte: FURNAS, 2013)

5.2.3 Microscopia Ótica de Luz Refletida

Os resultados indicam em todas as amostras de agregados graúdos a presença do sulfeto tipo pirita (FeS_2), apenas, e em análise semi-quantitativa realizada o sulfeto se apresenta na forma rara, inalterada e são (FURNAS, 2013).

As Figuras 31 e 32 apresentam as fotomicrografias com aparecimento de pirita e cristais de pirita.

Figura 31 – Fotomicrografia – Piritas (Py) são. (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 32 - Fotomicrografia – Cristais de Pirita (Py) sã. (Fonte: FURNAS, 2013)

5.2.4 Difratometria de Raios X

Fazendo a análise dos agregados por difração de raios X, foi possível identificar como principal componente mineralógico a calcita e complementando ainda as análises dolomita e quartzo, além de ilita e montmorilonita como traços. Na Tabela 5.30 são apresentados os principais constituintes mineralógicos por difração de raios X.

Tabela 5.30 – Principais constituintes mineralógicos (Fonte: FURNAS, 2013).

Amostras	Materiais oriundos da pasta de cimento	Materiais oriundos dos agregados
Placa 01	Trissulfoaluminato de cálcio hidratado -	Quartzo
Placa 02	etringita - sulfato de cálcio hidratado - gipsita -	
Placa 03	hidróxido de cálcio - portlandita - carbonato de cálcio - calcita - silicatos de cálcio	

Através desta técnica, foi possível comprovar a presença da etringita e com base nos resultados obtidos, foram realizados os difratogramas para as três placas amostradas, analisando-as de forma separada, agregado e argamassa, conforme apresentado nas figuras abaixo.

(a)

(b)

Figura 33 – (a) e (b) Difrátogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 01 (Fonte: FURNAS, 2013).

(a)

(b)

Figura 34 – (a) e (b) Difrátogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 02 (Fonte: FURNAS, 2013).

(a)

(b)

Figura 35– (a) e (b) Difractogramas das amostras de argamassa de concreto e de agregado da placa 03 (Fonte: FURNAS, 2013).

5.2.5 Análise química

Para realização da análise química, também foi realizada a separação das frações agregado e argamassa, e de posse dos dados do ensaio, puderam ser comparados os teores de enxofre entre as amostras. Na Tabela 5.31 são apresentadas as porcentagens de teor de enxofre total, em forma de sulfetos e sulfatos das amostras analisadas.

Tabela 5.31 – Teor de Enxofre (%) total, na forma de sulfetos e de sulfatos (Fonte: FURNAS, 2013)

Amostras	Fração	S Total (%)	S sulfato (%)	S sulfeto (%)
Placa 01	Agregado	0,11	0,02	0,09
	Argamassa	0,46	0,34	0,12
Placa 02	Agregado	0,10	0,02	0,08
	Argamassa	0,46	0,44	0,02
Placa 03	Agregado	0,10	0,03	0,07
	Argamassa	0,39	0,33	0,06

5.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Através das análises da MEV, foi possível verificar que as amostras analisadas são semelhantes do ponto de vista microestrutural, além disso, os poros e formações massivas. Também foi possível verificar a presença de material maciço gretado sílico-alcalino, característico da RAA e carbonatos de cálcio.

Na Figura 35 mostra-se o potencial reativo apresentado pelo agregado presente no concreto, o que pela NBR 15577, Parte 04 (2008), determina como referência a idade de 30 dias para atingir 0,19% de expansão, representando assim, um agregado de comportamento inócuo.

(a)

(b)

Figura 36– (a) Aos 11 dias de expansão, o agregado apresentou-se com comportamento reativo, resultando 0,19% na média das expansões, (b) Aos 30 dias de expansão, passou para 0,60%.
(Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 37– Poro totalmente preenchido por etringita massiva (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 38 – Cristais neoformados depositados sobre o agregado (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 39 – Poro com gel maciço gretado (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 40– Poros próximos sendo um deles com deposições de etringita (E) e outro com gel (G) (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 41 – Poro contendo produtos típicos da RAA (Fonte: FURNAS, 2013)

Figura 42– Gel maciço gretado da RAA (Fonte: FURNAS, 2013

)

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos

Durante as investigações, no aspecto geológico e geotécnico, não foram encontrados quaisquer indícios de que a causa das patologias estudadas tivesse origem no solo, seja do terciário ou do aterro. Pelo contrário, as sondagens indicaram que a condição de compactação é bastante favorável e coerente com os requisitos de projeto.

A investigação das fundações do pavimento de concreto dos pátios de estacionamento de aeronaves foi realizada com a execução de 17 sondagens à percussão do tipo SPT, visando determinar a espessura e tipo do aterro e suas características.

Os ensaios não mostraram a sobrecarga correspondente à expansividade de 2%; entretanto considerando-se a sobrecarga de 40 libras do ensaio de CBR, apresentou uma expansividade de 1,54%, portanto inferior a 2%, valor máximo aceito. Utilizando-se a mesma metodologia de cálculo, é possível concluir que a altura mínima de aterro sobre o silte, para evitar uma provável expansão do solo, seria de 56 cm de um solo inerte com densidade de 1,7g/cm³. Condição esta verificada em todos os pontos ensaiados.

Os levantamentos de defeitos nos pavimentos foram realizados por processo visual e manual, caminhando-se sobre cada placa de concreto, não com objetivo de anotações, mas sim, definindo claramente os padrões de morfologias de defeitos que se apresentavam na superfície do concreto.

As análises realizadas no MEV foram auxiliadas pela espectrometria por energia dispersiva de raios X, microanálise e indicaram a presença de produtos neoformados característicos de processos químicos de deterioração do concreto.

Com a observação de diversas morfologias nas amostras analisadas tais como gel maciço, com aspecto gretado e botrioidal, e produtos cristalizados na forma de rosáceas, como também na forma rendada, conclui-se em se tratar da RAA.

Os produtos da RAA encontrados na amostra de fratura através do MEV apresentaram-se através de diversas formas, podendo ser encontradas tanto as fases amorfas quanto as cristalizadas. As diferenças entre estas morfologias podem estar relacionadas com os diferentes estágios em que se encontram os produtos da RAA. Acredita-se que o gel com aspecto gretado é uma das formas mais expansivas, uma vez que esta característica gretada deve-se à secagem da amostra, denotando a elevada umidade presente. Portanto, quanto maior o teor de água presente, maiores expansões são geradas.

Os estudos microscópicos sobre padrões de cristais e de preenchimento de porosidade realizados até o momento puderam comprovar a presença de tal reação em amostras de concreto extraídas dos pavimentos no aeroporto. No entanto, o padrão de fissuração, as evidências de expansão dos pavimentos nos terminais, mesmo no terminal de cargas onde os padrões de defeito sugerem um processo mais lento de RAA, deixam bastante claro de tratar-se de um padrão geral no local, de modo mais acentuado nos pavimentos mais recentes.

Também é muito importante ressaltar que não existem ainda evidências de problemas funcionais para os pavimentos, e, portanto para as aeronaves, o que garante conforto e segurança para as mesmas, até que escalonamentos em fissuras ou bordas, e desagregação superficial do concreto venham ocorrer.

Como se trata de uma patologia que pode ocorrer tanto lentamente quanto rapidamente, a manutenção e um acompanhamento constante dos defeitos tornam-se importantes aliados para o conhecimento da evolução em que esta reação está acontecendo.

6.2 Pista experimental da USP/ FAPESP

As investigações realizadas com as diversas metodologias utilizadas mostraram-se bastante eficientes para a análise e estudo das amostras das placas de concreto ensaiadas.

Com a classificação da origem dos agregados, foi possível identificar os constituintes mineralógicos, verificando-se ainda os minerais potencialmente reativos no que diz respeito à RAA, com base na NBR 15577/3.

Os agregados graúdos identificados contêm cristais de calcita e também de quartzo; tais minerais foram analisados quanto à sua potencialidade para RAA, onde se destacaram a areia e os feldspatos potássicos que podem participar da reação expansiva.

Tendo conhecimento da mineralogia dos agregados e com isso identificando os minerais opacos, mais especificamente os sulfetos do tipo pirita (FeS_2), observou-se também a textura, alterações e inter-relações entre estes minerais presentes.

As análises químicas realizadas determinaram a porcentagem do teor de enxofre nas amostras ensaiadas, evidenciaram assim as reações envolvendo os sulfatos que também são reações expansivas, resultando na formação de etringita, o que também pode levar o concreto à deterioração em função das expansões, fissurações, entre outros problemas estruturais.

Com as amostras de concreto ainda foi possível analisar o pavimento quanto à determinação das propriedades e características do concreto. As resistências do concreto variaram entre 25,1 MPa e 31,4 MPa, podendo a queda dos valores ser devida ao efeito causado pela RAA. Os valores determinados para o módulo de elasticidade, que variaram entre 16,7 GPa e 33,8 GPa, também apresentaram uma queda considerável para algumas amostras, e neste caso, mais nitidamente do que a resistência à compressão.

Nas análises realizadas com a MEV foi possível verificar que dentre as principais características apresentaram-se os poros com deposições brancas, com fases sulfatadas e pontualmente, foi verificado material maciço gretado sílico-alcalino, característico do gel da RAA.

O pavimento de concreto, com base nos resultados das análises realizadas, apresentou não só uma patologia, mas sim duas : ataque por sulfetos e a RAA que em função do comportamento, afetam estruturalmente as placas de concreto, o que ficou também demonstrado nos valores obtidos para o módulo de elasticidade e resistência.

6.3 Recomendações para estudos futuros

A realização de estudos futuros referentes aos efeitos estruturais causados pela RAA nos pavimentos de concreto buscando o desenvolvimento de alternativas de prevenção e também, sendo o caso, de mitigação, trariam um melhor entendimento à esta patologia para a área de pavimentação.

O estudo mais profundo das propriedades do concreto e também dos agregados, certamente enriqueceria o desenvolvimento de projetos, ampliando o controle tecnológico destes materiais na execução das obras.

Com a RAA confirmada na pista experimental da USP, dar continuidade no acompanhamento desta patologia e sua influência no comportamento estrutural do pavimento, torna-se uma necessidade e certamente trará mais conhecimento para projetos e obras futuras.

A realização do levantamento deflectométrico com FWD, fornecerá os dados necessários para avaliação do módulo de elasticidade do concreto, o que torna possível realizar um comparativo com os módulos obtidos por Colim (2009) e assim, determinar o quanto a evolução da RAA afetou estruturalmente o pavimento.

Sendo o pavimento de concreto uma estrutura exposta às variações das condições climáticas, torna-se inevitável o contato com águas superficiais, que como estudado, é um fator preponderante para que ocorra a RAA, torna-se recomendável que as normas desenvolvidas para pavimentação contemplem os métodos de prevenção, detecção e mitigação para esta patologia, citando as normas existentes, tornando o conhecimento da RAA mais abrangente no meio técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. R. Betões de Alta Resistência e Durabilidade. Dissertação (Doutorado) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa (IST), 1990.

ANDRIOLO, F. R. Reação álcali-agregado: observação de âmbito internacional. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1. 1997. Goiânia. Anais... Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997.

AASHTO INNOVATIVE HIGHWAY TECHNOLOGIES. Alkali-Silica Reactivity – Proposed AASHTO Guide Specification for Highway Construction, Developed and Submitted by the AASHTO Lead State Team on AS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLANDA – ABCP - Apreciação da Durabilidade do Concreto, com ênfase na Reação Álcali Agregado, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-4: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12651. Materiais pozolânicos – Determinação da Eficiência de Materiais pozolânicos em evitar a expansão do Concreto devido à Reação Álcali-Agregado. São Paulo, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10340. Agregados – Avaliação da Reatividade Potencial das Rochas Carbonáticas com os Álcalis do Cimento. São Paulo, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9773. Agregado – Reatividade Potencial de Álcalis em combinações Cimento-Agregado. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9774. Agregado – Verificação pelo Método Químico. São Paulo, 1987.

BALBO, J. T.; SEVERI, A. A.; RODOLFO, M.P.; PEREIRA, D. da S. Pesquisa dos efeitos do clima sobre pavimentos de concreto – instrumentação da pista experimental da USP. In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000, Cd-rom, Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Gramado, 2000.

BALBO, J. T.; SEVERI, A. A. Pesquisa dos efeitos do clima sobre pavimentos de concreto – instrumentação da pista experimental da USP. In: *Transportation Research Record* nº 1809, TRB, Washington, D. C., 2002.

BALBO, J.T. Pavimentação Asfáltica: materiais, Projeto e restauração. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

BERUBÉ, M.A.; FOURMIER, B. *Petrography and Alkali-Aggregate Reactivity Testing field Concrete for further Expansion due to Alkali-Aggregate Reactivity*, 1991.

BICZOK, I. *Corrosion y protection del hormigon*. Trad. De Emílio j. d'Ocon Asensi. Bilbao/Espanha, 1972.

BRITISH CEMENT ASSOCIATION, *The diagnosis of Alkali-Silica Reaction (2nd edition)*. British Cement Association, Wexham Springs, Slough (UK), 1992.

CIGB – COMISSION INTERNATIONAL GRANDS BARRAGES; ICOLD – THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS - BULLETIN 79 – *Alkali-Aggregate reaction in concrete dams – Review and recomendations*. Paris, 1991.

CAPRA, B.; BOURNAZEL, J. P.; BOURDAROT, E. *Modeling alkali-aggregate reaction effects in concrete dams*. In; *SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTIONS IN HYDROELECTRIC PLANTS AND DAMS*, 2. 1995, Chattanooga/Tennessee. Proceedings, 1995.

CASTRO, C. H.; GUERRA, E. A.; FONTOURA, J. T.; GRAÇA, N. G. Estudo comparativo de propriedades do concreto afetado pela reação álcali-agregado, 1997:

SIMPOSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1 997, Goiânia. Anais...Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997.

COLIM, G. M. Estudo dos fatores que afetam a transferência de carga em juntas de pavimentos de concreto simples. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

COOK, D. *Production of cements based on rice husk ash*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENT LOW-COST & ENERGY SAVING CONSTRUCTION MATERIALS, Rio de Janeiro, 1984.

COURTIER, R.H. The assessment of ASR-affected structures. *Cement and Concrete Composites*, vol. 12, pp. 191-201, 1990.

CSA International 178 Rexdale Boulevard – Toronto, Ontario / Canadá. A864-00 *Guide to the Evaluation and Management of Concrete Structures Affected by Alkali-Aggregate Reaction*

DENT GLASSER, L. S. and KATAOKA, N. (1982) *On the Role of Calcium in the Alkali-Aggregate Reaction*, *Cement and Concrete Research*, 12, 321-331. 11
Willinmson,R.B.1968 Constitutional Supersaturation in Portland Cement Solidified by

DIAMOND, S.A *Review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms – 1. Alkalies in cements and in concrete pore solutions*. *Cement and Concrete Research*, v.5, p.329-345, 1975

DRON, R.; BRIVOT, F. Thermodynamic and Kinetic approach to the alkali-silica reaction. Part 1: Concepts. *Cement and Concrete research*, v. 22, p. 941-948, 1992.

DUCHESNE, J.; BÉRUBÉ. M. A. *The effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: another look at the reaction mechanism, Part 1: concrete expansion and portandite depletion*. *Cement and Concrete Research*, v.24, n.1,p.73-82,1994.

FARNY, J. A.; KOSMATKA, S., *Portland Cement Association. Diagnosis and Control of Alkali-Aggregate Reactions in Concrete*, 1997.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Handbook for Identification of Alkali-Silica Reactivity in Airfield Pavements – Advisory Circular*, 2004.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – Ensaios e propriedades. São Paulo, 1997.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Análises laboratoriais – Serviço de Apoio à Sociedade, 2013.

GILLOT, J.E., *Alkali-Aggregate reaction in concrete. Engineering Geology*, vol. 9, pp. 303-326, 1975.

GLASSER, L. S.; KATAOKA, N. The chemistry of 'alkali-aggregate' reaction. *Cement and Concrete Research*. V;11, n.1, p.1-9, 1981.

HALL, K. T. Performance, Evaluation and Rehabilitation of asphalt-overlaid concrete pavements. P.h D. thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1991.

HASPARYK, N.P. Mecanismos da Reação Álcali-Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz. Dissertação (Mestrado em Engenharia) 1999.

HASPARYK, N. P. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

HELMUTH, R.; STARK, D. *Alkali-silica reactivity mechanisms. In: SKALNY, J. Materials science of concrete III*. Westerville, Ohio: The American Ceramic Society, 1992. P. 131-208

HOBBS, D.W. *Alkali-Silica Reaction in Concrete*. London, Thomas Telford, 1988.

JOHNSTON, D.P.; SUDARHL, R.; STOKES, D.B., *A Case Study of a Lithium-Based Treatment of an ASR-Affected Pavement*, 2000.

KIHARA, Y.; SCANDIUZZI, L. Reação Álcali Agregado: Mecanismos, Diagnose e Casos Brasileiros – 3º Congresso Brasileiro de Cimento, 1993.

KURTIS, K.E., COLLINS, C.L.; MONTEIRO, P.J.M. "The surface chemistry of the alkali-silica reaction: A critical evaluation and X-ray microscopy," Concrete Science and Engineering, V4, pp 1-11, March 2002.

LANE, D. S.; OZYIIDIRIM, C. Preventive measures for álcali-sílica reactions (binary ternary systems). Cement and Concrete Research, 29, 2006.

LARIVE, C. "*Apports combinés de l'expérimentation et de la modélisation à la compréhension de l'alcali - réaction et de ses effets mécaniques*", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 395 p., Paris, 1997.

LEINZ, V. O. AMARAL, S. E. Geologia Geral. São Paulo: Editora Nacional, 1995.

LIM, S.; ZOLLINGER, D.; SARKAR, S.L. . *Present for the Federal Aviation Administration Airport Technology Transfer Conference. Evaluation of ASR Distress in Airfield Concrete Pavements*, 2002.

LE ROUX, A. *Reactions alkali-granulat. Journées d'ouvrages d'Art, Section: Geologie e Materiaux*. Paris, 1988.

Lemarchand, E., Dormieux, L., Ulm, F.J., "*Elements of micromechanics of ASR expansion*", Concrete Science and Engineering, RILEM, Vol. 4(3), 12–22, March 2002.

LOPES, L.E., Modelagem Mecânica e Numérica da Reação Álcali-Agregado com Aplicação a Barragens de Concreto. Tese de Doutorado, 2004.

MAFFEI, J. C. O arroz: perfil agrícola, armazenamento e conservação. Porto Alegre: SAGRA S. A., 1981

MCCOYT, W.J.; CALDWELL, A.G.. – *New Approach to Inhibiting Alkali-Aggregate Expansion*.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – microestrutura, propriedades e materiais. 3ª Edição. São Paulo, 2008.

MUNHOZ, C.F.; KIHARA Y.; CINCOTTO, A. M. 50º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-sílica e álcali-silicato, 2008.

NIXON, P. J.; GAZE, M. E. *The use of fly-ash and granulated blastfurnace slag to reduce expansion due to alkali-aggregate reaction*. In: 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI- AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 1981, Cape Town, *Proceedings...* Pretoria: NATIONAL BUILDING RESEARCH INSTITUTE, 1981. Paper S252/32,p1-10, 1981.

OBERHOLSTER, R. E.; DAVIES, G. *An accelerated method for testing the potential alkali reactivity of siliceous aggregates*. *Cement and Concrete Research*, v.16, n.2, p.181-189

PACELLI DE ANDRADE, W. e Equipe do Laboratório de Concreto de FURNAS (1997), "CONCRETOS massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – Ensaio e Propriedades", 1 ed. São Paulo, PINI ,1997.

PAULON, V. A., *Reações álcali-agregado em concreto*. São Paulo. 114p Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1981.

PETERSON, M. G.; ULM, F-J, "*Chemoplasticity of the alkali-silica reaction in concrete: modelling of stress-induced anisotropy*", *Report, Department of Civil & Environmental Engineering - School of Engineering, Massachusetts, EUA*, 2000

PIACENTIN, C.;JULIANI, M.;BECOCCHI, L.;BARRETO, C. R.. *Usina de Traição – A evolução da Reação Álcali- Agregado nos Últimos 20 anos*.

SCANDIUZZI, L.; BATTAGIN, A.F.;KIHARA, Y. – Associação Brasileira de Cimento Portland. *Estudos da Reação Álcali Agregado em Obras Brasileiras*.

SELLIER, A., BOURNAZEL, J. P.; MEBARKI, A. "*Modelling the alkali-aggregate reaction with descriptions of the local destructive phenomena involved.*" *Mat. and Struct.*, 28, 373–383, 1995.

SEVERI, A. A. *Estudos de gradientes térmicos em pavimentos de concreto de cimento Portland em ambiente tropical*. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SMITH . R. G.; KAMWANJA. G. A. *The use of Rice Husk for Making a Cementitious Material*. Proc: JOINT SYMPOSIUM ON THE USE OF VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBERS AS BUILDING MATERIAL, Baghdad, 1986.

STARK, D.; MORGAN, B.; OKAMOTO, P., *Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity*, 1993.

STANTON, T. E. *Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate*. Proceedings of American Society of Civil Engineers, 1940.

STIEVENARD-GIREAUD, D. *Etude de la reaction alcalis-silice dans les bétons*. Paris: LCPC, 1987.

STOKES, D.B., SHASHIPRAKASH, S.G.; THOMAS, M.D.A., *Development of a Lithium-Based Material for Decreasing ASR-Induced Expansion in Hardened Concrete*, 2000.

TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*. London: Academic Press, 1990.

TIECHER, F; SILVA, L. B.; VENQUIARUTO, S. D.; DAL MOLIM, D. C. C. 50º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. *Avaliação da potencialidade de desenvolvimento da reação álcali-silicato a partir de uma rocha carbonáticas*, 2008.

TURRIZIANI, R. *Internal degradation of concrete: álcali-aggregate reaction, reinforcement steel corrosion*. In: 8th INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 1986, Rio de Janeiro, Proceedings...Rio de Janeiro, 1986.

ULM, F. J., COUSSY, O., LI, K., LARIVE, C., *“Thermo-Chemo-Mechanics of ASR-expansion in concrete structures”*, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 126(3), 233-242, March 2000

ULM, F. J.; PETERSON, M.; LEMARCHAND, E., *“Is ASR-Expansion caused by chemoporoplastic dilatation?”* Concrete Science and Engineering, RILEM, Vol. 4(3), 47-55, March 2002

VALDUGA, L., *Reação Álcali-Agregado – Mapeamento de Agregados Reativos do Estado de São Paulo*, 2002.

VAN AARDT, J. H. P.; VISSER, S. *Calcium hydroxide attack on feldspars and clays: possible relevance to cement-aggregate reactions*. *Cement and Concrete Research*, v7, n.6, p.643-648, 1977.

VAN VLACK, L. H. *Princípios de ciência e tecnologia dos materiais*. Trad. de Edson Monteiro. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1984.

VEIGA, F.N.; GONÇALVES, I.N.; ARMELIN, J.L.; ANDRADE, N.P.H. Reação Álcali Agregado: A utilização da Técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura na Identificação de seus produtos. Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, 1997.

VIEIRA, S. R. S.; OLIVEIRA, M. A. F. Estudo de alguns agregados brasileiros, com ênfase na avaliação de sua reatividade potencial frente aos álcalis do cimento. In: 39º REIBRAC – REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 1997, São Paulo. Anais...São Paulo: IBRACON, 1997.

VIVIAN, H. E. Studies in cement-aggregate reaction. XIX: The effect on mortar expansion of the particle size of the reactive component in the aggregate. Australian Journal of the Applied Science, v.2, p.488-494,1951.

WANG, H.H.; STOKES, D.B.; TANG, F.. Compatibility of Lithium-Based Admixture with other Concrete Admixtures.

ANEXO A - LOCAÇÃO DAS SONDAGENS A PERCUSSÃO E AMOSTRAS DE CONCRETO

Revisão	Modificações	Data	Substituído	Seção	Vista	Data	Desenho
R-1	COMPLEMENTADA A GEOMETRIA DA VIA DE SER-	30-11-83				10/10/83	BARRICA
R-2	VISÃO					30/10/83	
R-3	ACRESCENTADA INDICAÇÃO DE PAVIMENTOS NA ÁREA DO	18-04-84					
R-4	TERMINAL DE CARGAS						
R-5	ALTERADO E ACRESCENTADO PLANEJAMENTO DO PAVIMEN-	31-05-86					
R-6	TO DO TPS-2 E POSICÃO REMOTA CENTRAL						

NOTAS

- 1- PARA EXECUÇÃO DO PAVIMENTO, CONSULTAR AS ESPECIFICAÇÕES DE MATERIAIS E SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO.
- 2- COTAS E MEDIDAS EM METROS, SALVO ONDE INDICADO.
- 3- OS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS INDICADOS REFEREM-SE AOS EIXOS DAS JUNTAS.

MAer Copasp

aeroporto internacional de guarulhos (cumbica)
pistas e pátios

pavimentação

PÁTIO DE AERONAVES DO TECA E TPS

LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TÍPICAS

PLANTA

ENGEVIX S.A.
ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA

escala 4000

1:2000 04.10.83 GUA/PPT/005.061 / R3

ANEXO B – LOCAÇÃO DOS PIT'S DE ABASTECIMENTO

Rev.	Data	Descrição	Por	Aprov.
1				
2				
3				
4				
5				

		Escala		Título	
Projeto		Desenho		PÁVIO DE AERONAVES DO TECA E TPS	
Verificado		Resposta		LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DOS PIS	
Resposta		Data		Rev.	
				FL	

ANEXO C – LOCAÇÃO DOS PONTOS DE INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA (GPR)

LEGENDA

- PAVIMENTO RÍGIDO PARA AERONAVES, $e = 0,40m$
- PAVIMENTO RÍGIDO PARA VEÍCULOS, $e = 0,22m$
- PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA AERONAVES - PÁTIO
- PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA AERONAVES - SISTEMA DE PISTAS
- PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA VEÍCULOS

Rev.	Data	Descrição	Por	Aprov.
1				
2				
3				
4				
5

Ofício	
Projeto		Escala	
Desenhado		Título	
Verificado		PÁTIO DE AERONAVES DO TECA E TPS	
Emp.Tec.		LOCAÇÃO DOS GPRs	
N.º Cliente		Des.	Rev.

ANEXO D – MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA

PIEZÔMETROS

Rev.	Modificações	Data	Aprov.	Aprov. Infraero

Desenho *[assinatura]*
 Projeto *R*
 Conferido *R*
 Aprovado *[assinatura]*

Nome *Danielle* Visto *[assinatura]* Data *11/05*
DANIELLE ZAMBOTTO
 Técnico de Pavimentação
 CREA-SP 5061739583
 Substituído por

Aprovação Infraero/SRGR
 Visto *[assinatura]*
 Eng. José Ricardo de Almeida
 EGGR - 2 - Coordenador de Projetos
 CREA - SP 0506914895
 Aprovado *[assinatura]*
PEDRO RICARDO P. BOARETO
 Coordenador de Obras - EGGR-3
 Matrícula 84.823-76
 Arq. Cecília Helena dos Santos Alzuguir
 EGGR - Gerente de Engenharia
 CREA - DF 3585/0
 Gerente de Engenharia
 CREA nº 060.084.343/6 - SP

DESENHOS DE REFERÊNCIA:

NOTAS:

Superintendência Regional do Sudeste / SRGR

aeroporto internacional de são paulo / guarulhos
 terminal de passageiros

PÁTIO DE AERONAVES DO TECA E TPS

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO
 LOCAÇÃO DOS PIEZÔMETROS

IEME BRASIL ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA.

escala data
 S/ESC. NOV/2005 GUA PPT 005.298

ANEXO E – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO REMOTO 2

Rev.	Data	Desenho	Por	Aprova
1				
2				
3				
4				
5

INFRAERO	
Projeto		Execu	
Desenho		Titulo	LEVANTAMENTO DAS TRILHAS E PISINAS DO PISO DO ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS
Verificado		Posição	REMOTA CENTRAL
Rev. 1/16		Rev.	

ANEXO F – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO REMOTO 1

TRINCAS E FISSURAS

- FISSURA EM MAPA
- FISSURA EM MAPA LEVE
- PLACA RECONSTRUÍDA
- REMENDO COM ASFALTO
- TRINCA ESTRUTURAL
- ESCALONAMENTO
- JUNTA CRUADA
- TRINCA EM MAPA COM FORMAÇÃO LAMELAR
- REMENDO

ANEXO G – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TPS-2

TRINCAS E FISSURAS

- FISSURA EM MAPA
- FISSURA EM MAPA LIGE
- PLACA RECONSTRUIDA
- RESENDO COM ASFALTO
- TRINCA ESTRUTURAL
- MISALONAMENTO
- JUNTA GRADA
- TRINCA EM MAPA COM FORMAO LAMELAR
- RESENDO

ANEXO H – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TPS-1

Objeto: INFRAERO			
Projeto				Escala			
Desenho					Título: LEVANTAMENTO DAS TRINCAS E FISSURAS DO PISO DO ESTACIONAMENTO DE AVIÕES DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS		
Revisão					TERMINAL DE PASSAGEIROS Nº 1		
Ass. Tech.					Atividade	Des.	Rev.

ANEXO I – AVALIAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PÁTIO DO TERMINAL DE CARGAS (TECA)

ANEXO J – PROCESSO DE AUTORIZAÇÃO DA INFRAERO PARA USO DE MATERIAL TÉCNICO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900

Fones: (011) 3091-5208 / 3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

São Paulo, 1º de junho de 2011

Ao

MD Superintendente do Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Cumbica

Engo. Antonio Montano

Telefone: 2445-3849

Fax: 2445-3173

Rodovia Hélio Schmidt s/nº - Cumbica - Guarulhos

Prezados Senhores,

Vimos, por meio da presente, mui respeitosamente solicitar a contribuição de V.Sas. para o desenvolvimento de trabalhos de pesquisas de cunho meramente acadêmico, conforme descritos na sequência.

A Sra. Danielle Zambotto ingressou no programa de mestrado em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo no ano de 2011, tendo como orientador o Prof. Dr. José Tadeu Balbo. Seu tema de pesquisa versará sobre "Reação álcalis-agregados (RAA) em Pavimentação em Concreto: Uma Investigação Conceitual e Aplicada".

Para tanto, seria extremamente oportuno que a interessada pudesse ter acesso aos estudos realizados no caso do Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro – Cumbica, em Guarulhos (SP), onde diversos aspectos laboratoriais e práticos de campo foram considerados na análise da ocorrência de RAA em placas de concreto dos terminais (pátios de parada de aeronaves), entre 2004 e 2005.

Seu tempo para realização dos trabalhos de pesquisa limita-se em 32 meses, incluídos aqueles do ano de 2011. Quanto aos materiais desenvolvidos pela INFRAERO, a serem empregados, caso seja gentilmente autorizado por V.Sas., seriam:

- Relatórios e desenhos elaborados pela Empresa IEME do Brasil por solicitação da Gerência de Engenharia através da Coordenação de Projetos (incluindo levantamentos e análises de ensaios de campo como GPR, FWD e demais instrumentações em pista, além dos ensaios realizados pelo Laboratório de FURNAS e pela ABCP sobre a presença potencial de RAA em amostras extraídas de placas de concreto).

Aguardando a manifestação de V.Sas. sobre o pleito apresentado, gostaríamos de recordar que, com a conclusão dos trabalhos, serão devidamente agradecidos os esforços dessa digna INFRAERO em ceder os dados para a pesquisa, o que se fará constar nos agradecimentos no corpo do texto da versão final da dissertação de mestrado a ser desenvolvida pela interessada. Também, será encaminhada oficialmente à biblioteca da INFRAERO, em São Paulo, uma cópia de tal produto de pesquisa.

Atenciosamente,

Prof. Dr. José Tadeu Balbo

Coordenador do Laboratório de Mecânica de Pavimentos da EPUSP

Vice-Presidente da *International Society for Concrete Pavements* (www.concretetpavements.org)

Pastas

Adivinhatório

Arcadis

Autorização Infraero

Batizado e Aniversário

CDHU

chá bebê

Construção casa

Contas

Corridas

Curriculos

Diversos

Duplex

Empresa - contador

Festa mãe

FIRPAVI

Formatura Carol

Fundaluminio

Infraero

Intercambio Carol

Maubertec

Maubertec - após saíd.

MBA

Mestrado

Mudança

Nota Fiscal Paulista

Obra_CPR

Planway

Projeto Casa

Qualitas

Sem Parar

Serviços diversos

Tecnocontrol

TECPAV

Trabalhos Edu

Venda terreno

←

↶

↷

→

Apagar

Mover

Spam

Mais

Apoio para Desenvolvimento de Pesquisa Acadê... (7)

Andre Kuniyoshi

12 Ago 2011

Para Eu, Awny Mustafa, Romulo Fontenele Cavalcante, e 2 Mais...

Prezada Danielle

Informo que foi autorizado pela Superintendência do Aeroporto Internacional de São Paulo/ Guarulhos e pela Gerência de Engenharia da SRSP (Superintendência da Regional de São Paulo da Infraero), o atendimento de solicitação feita através de Carta S/N enviada em 01.06.2011 pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, para acesso a documentos técnicos necessários para o desenvolvimento de pesquisa acadêmica, relacionados na supracitada Carta.

Solicito resposta a este e-mail, informando a data e horário pretendida para reunião inicial, a ser realizada na Gerência de Engenharia da SRSP.

Atenciosamente,

Carlos André Kuniyoshi
AS-IV Arquiteto
Tel: (11) 2445-3862 / Fax: (11) 2445-4013
e-mail: ckuniyoshi.cns@infraero.gov.br
Superintendência Regional de São Paulo - EGSP-2
INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

As informações existentes nessa mensagem e nos arquivos anexados são de uso restrito, sendo seu sigilo protegido por Lei. Caso você não seja o destinatário, saiba que a leitura, divulgação ou cópia destas informações são proibidas. Favor apagá-las e notificar o remetente. O uso impróprio será tratado conforme as normas da empresa e a legislação em vigor.

The information contained within this message and attached files is restricted, and its confidentiality is protected by law. If you are not the addressee, be aware that the reading, divulging and copying of this message is prohibited. Please, delete this message and notify the sender. The improper use of this information will be dealt with according to the company's internal regulations and federal laws.

Responder, Responder a todos ou Encaminhar | Mais

Eu

12 Ago 2011

Para Andre Kuniyoshi, Awny Mustafa, Romulo Fontenele Cavalcante, e 2 Mais...

Prezado André

Bom dia

Agradeço a colaboração por parte da INFRAERO e também do corpo técnico que a integra, para o desenvolvimento da minha dissertação de Mestrado.

Podemos marcar esta reunião para a próxima quinta-feira, 18/08/2011, por volta das 10h00min?

Existe a possibilidade de ser liberada minha entrada no estacionamento?

Att
Danielle

Engª Danielle Zambotto
8556-0881

--- Em **sex, 12/8/11, Andre Kuniyoshi**
<ckuniyoshi.cns@infraero.gov.br> escreveu:

De: Andre Kuniyoshi <ckuniyoshi.cns@infraero.gov.br>
Assunto: Apoio para Desenvolvimento de Pesquisa Acadêmica
Para: dzambotto@yahoo.com.br

Publicidade

Encontre pessoas solteiras perto de você!

Busque Aqui!

YAHOO! ENCONTROS

https://br-mg5.mail.yahoo.com/neo/launch?.rand=5rc4ssk31d3mv

24/01/2014