

ANÁLISE DA DETERIORAÇÃO DO ESTÁDIO DE FUTEBOL JOÃO MACHADO

Nielsen José Dias Alves

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Acadêmico de Engenharia Civil
Rua das Hortênsias, N.º 385 – Mirassol – Natal/RN – 59078-140
Fone: (084) 231-8075
E-Mail: nielsen@ufrnet.br - njda@zipmail.com.br

Iramar Gomes P. R. de Holanda

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil

Maria das Vitórias V. de Almeida

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Doutoranda em Engenharia de Materiais

Djalma Ribeiro da Silva

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Professor Adjunto do Departamento de Química

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo determinar as causas da elevada deterioração do estádio de futebol João Cláudio Vasconcelos Machado, localizado na cidade de Natal/RN. Para essa determinação, foram realizados o levantamento do histórico da obra, ensaios para determinação do teor de cloretos, profundidade de carbonatação, e medição dos potenciais de corrosão nas estruturas do estádio. Comprovou-se que as principais causas da deterioração foram: as falhas de execução, como a pequena espessura de cobrimento e grande altura de lançamento do concreto; a utilização de materiais inadequados, e de um aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio; a penetração de agentes agressivos ao concreto, provenientes da atmosfera marinha da cidade de Natal, aliados a falta de manutenção da estrutura.

1. INTRODUÇÃO

A deterioração do concreto devido a corrosão de armaduras, vem se tornando uma das principais manifestações patológicas deste final de século. A incidência cada vez mais constante do fenômeno aliada aos altos custos que envolvem a deterioração do material e o risco de comprometimento da estabilidade estrutural são provas disso. No Brasil, a situação é particularmente grave porque suas principais cidades estão localizadas em regiões litorâneas, como a cidade de Natal, submetidas à ação agressiva da atmosfera marinha, ou em ambientes urbanos, sujeitos à intensa poluição ⁽¹⁾.

O presente trabalho procura determinar as possíveis causas da deterioração do estádio de futebol João Cláudio Vasconcelos Machado, situado na cidade de Natal/RN, o qual apresenta vários problemas patológicos, após 24 anos do término da construção.

Busca-se fazer uma discussão a respeito das causas e origens do fenômeno patológico, através da inspeção visual do estádio, dos ensaios para determinação do teor de cloretos, da análise de carbonatação, e medição dos potenciais de corrosão nas estruturas do mesmo.

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO ESTÁDIO

O estádio de futebol João Cláudio Vasconcelos Machado, conhecido por MACHADÃO, tem aproximadamente 12000 m² e está situado no bairro Lagoa Nova na cidade de natal/RN. As fundações são do tipo profunda em tubulões a céu aberto e estacas de concreto armado pré-moldadas; sua estrutura principal é constituída por pórticos com pilar único e dois balanços de comprimentos variáveis, por vigas e marquises. Todo o estádio foi executado em concreto aparente num local afastado aproximadamente 3,5 km do mar; não existe qualquer tipo de impermeabilização nas marquises, havendo apenas um revestimento de 0,5 a 1 cm de chapisco nos 88 pilares do estádio.

O esquema geral da estrutura pode ser visto nos croquis das Figuras 1 e 2.

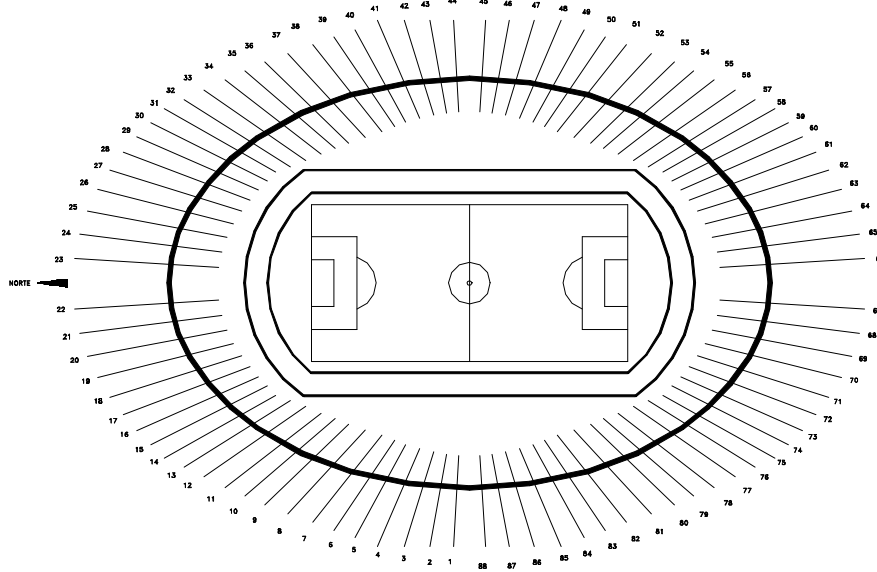


Figura 1 – Croqui em planta do estádio de futebol em estudo, com a localização dos pilares.

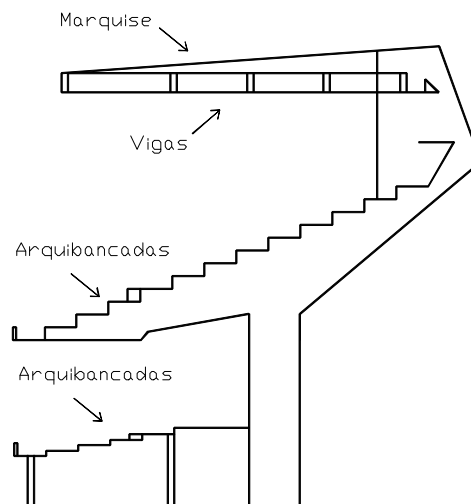


Figura 2 – Croqui do corte lateral do estádio.

3. METODOLOGIA DE INSPEÇÃO

A inspeção do estádio foi realizada primeiramente através de uma análise visual, e de uma série de pequenos ensaios (como profundidade de carbonatação através do emprego, via aspersão, do indicador fenolftaleína, e medição dos potenciais de corrosão), onde buscou-se caracterizar e registrar todos os sintomas visuais existentes nas estruturas tais como fissuras e deterioração do concreto, e preparar um plano mais detalhado para desenvolver uma inspeção pormenorizada.

A inspeção detalhada constou da análise do teor de cloretos em três regiões do estádio, num total de 10 amostras. Para cada ponto de extração foram retiradas 2 amostras, cujas profundidades de extração foram: 0-1,0 cm e 1,0-2,0 cm. As amostras 5,6,9 e 10 foram retiradas de peças de concreto que apresentavam revestimento em forma de chapisco, pintado com cal, apresentando aproximadamente 1cm de espessura; as demais amostras foram retiradas de pontos da estrutura que não apresentavam revestimento, portanto sujeitas ao ataque direto das intempéries. Utilizou-se uma furadeira de impacto com gatilho eletrônico, e uma broca serra copo diamantada para extração das amostras, as quais foram recolhidas na forma de cilindros em embalagens plásticas adequadas, quando então foram lacradas, etiquetadas e enviadas para laboratório. Em laboratório os teores de cloretos livres no concreto foram obtidos mediante o método Volumétrico de Mohr.

A representação esquemática da metodologia de inspeção do estádio pode ser vista na Figura 3, conforme preconizado por CASCUDO⁽¹⁾.

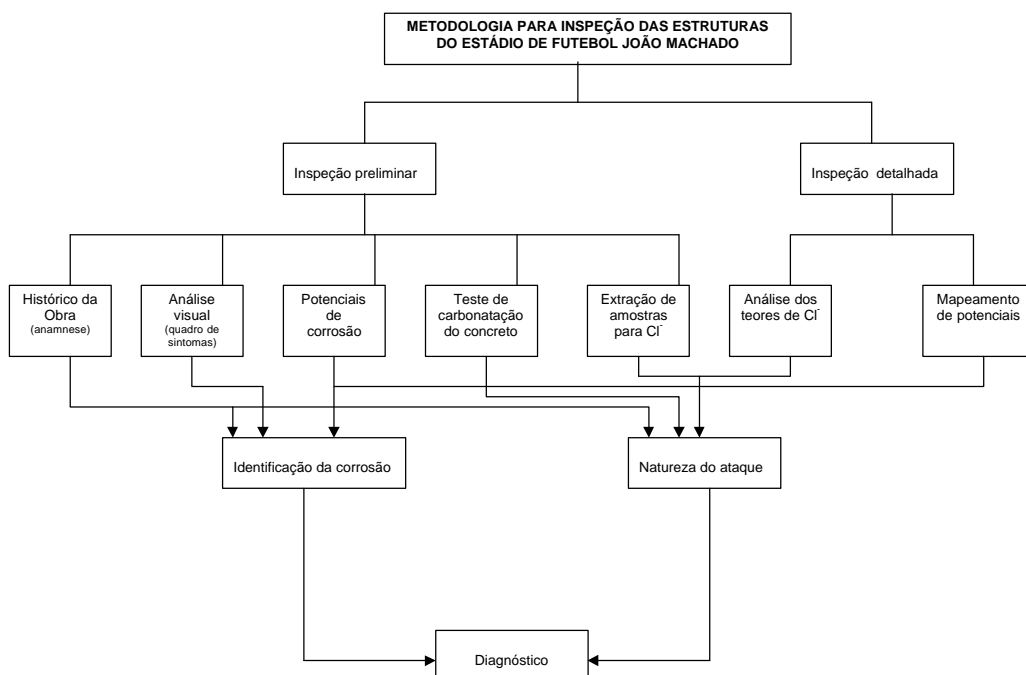


Figura 3 – Esquema da metodologia de inspeção utilizada no estádio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentaremos a seguir os resultados pertinentes à inspeção preliminar e a inspeção detalhada nas estruturas do estádio em questão, iniciando com algumas considerações genéricas sobre o estádio.

4.1 Considerações Gerais Sobre a Obra

De acordo com o histórico da obra, a construção do estádio foi iniciada em 1965 tendo sido inaugurado, ainda em fase de execução em 1972, sendo finalizado em 1975. Os materiais utilizados na construção e o traço foram: areia grossa e média lavada, cimento portland Zebu e Nassau, brita 19 e 32, traço 1:2:4 em massa com relação a/c variando de 0,6 a 0,7, aço CA 50A, 50B e CA 60 (estribos), $f_{ck}=15$ MPa, espessura de cobrimento variando de 1,5cm a 2,0cm e um aditivo acelerador de pega da marca Lastimam bz a base de $CaCl_2$. Para vedação das juntas de dilatação foram utilizados compensados e mastiques.

A partir desses dados podemos determinar alguns possíveis fatores que contribuíram para a atual situação do estádio, como a pequena resistência característica do concreto, que resultou num material com alta porosidade, facilitando a penetração da água e das intempéries do ambiente; traço pobre em cimento, tornando o concreto fraco, com pouco poder aglomerante e pouca proteção química, devido ao baixo resíduo de alcalinidade conferido ao mesmo nesse traço; pequena espessura de cobrimento, diminuindo assim a proteção física das armaduras; a utilização de compensados nas juntas de dilatação, que aumentaram a umidade no local facilitando a proliferação de fungos e aparecimento de eflorescências, e o emprego de um aditivo acelerador de pega, que contém em sua composição cloreto de cálcio.

4.2 Análise Visual

Os resultados da análise visual nos mostraram um quadro muito preocupante no que diz respeito ao comprometimento da estabilidade das estruturas. Notou-se em todo o estádio um alto nível de deterioração em todas as peças estruturais principalmente nas marquises, devido à falta de impermeabilização e ao pouco cobrimento das armaduras (0,5 cm).

Foram encontradas fissuras e destacamento do concreto em 80% das marquises e arquibancadas, e em menor escala nos pilares e vigas. Elas são típicas do fenômeno corrosão de armaduras, e ocorrem devido a esforços de tração que se dão no interior das peças pela formação de produtos expansivos de corrosão, estes se depositam ao redor das barras tensionando os elementos de concreto que, não resistindo, fissuram.

Outros indícios da deterioração verificados na estrutura são:

- Perda de seção das armaduras da marquise, arquibancadas, vigas e pilares;
- Rompimento dos estribos em vigas de sustentação das arquibancadas;
- Manchas de óxidos em grande parte das estruturas do estádio;
- Destacamento do concreto devido à corrosão das armaduras em pilares, arquibancadas, vigas e na marquise (Foto 1);
- Aparecimento de eflorescências nas juntas de dilatação;
- Aparecimento de estalactites de aproximadamente 30 cm de comprimento nas marquises (Foto 2), indicando a lixiviação do hidróxido de cálcio e a formação do carbonato de cálcio, que irá diminuir a alcalinidade no interior do concreto podendo provocar a depassivação da armadura e a conseqüente corrosão.

A incidência dos sintomas relatados anteriormente é mais intensa na região de maior incidência dos ventos (setor sudeste), portanto sujeitas ao ataque direto das intempéries. Apenas nas faces superiores das marquises não se verificou manifestação de corrosão, isto pode ter ocorrido devido à maior espessura de cobrimento nesta face.

4.3 Potenciais de Corrosão

As medidas dos potenciais de corrosão tiveram como principal objetivo nos dar informações qualitativas sobre o estado superficial da armadura, se esta apresenta um estado passivo ou ativo de corrosão⁽¹⁾. Para as medidas de potenciais encontradas em seis pilares onde se tinham dúvidas sobre a presença de corrosão, tendo em vista que havia sido realizado um pequeno trabalho de recuperação nos mesmos, foi utilizado o eletrodo de referência de cobre- sulfato de cobre.

Os resultados obtidos foram associados à probabilidade de corrosão segundo os critérios propostos pela ASTM C-876(Tabela 1). De acordo com as medidas de potenciais nos seis pilares, determinamos que todos eles apresentam elevada probabilidade de corrosão, uma vez que a maioria dos valores encontrados foram mais negativos que - 350 mV.

Tabela 1 – Avaliação dos resultados obtidos mediante a técnica de medida dos potenciais de eletrodo, em estruturas de concreto armado, segundo a ASTM C-876⁽¹⁾.

POTENCIAL DE CORROSÃO RELATIVO AO ELETRODO DE REFERÊNCIA DE COBRE-SULFATO DE COBRE-ESC (mV)	PROBABILIDADE DE CORROSÃO (%)
mais negativo que -350	95
mais positivo que -200	5
de -200 a -350	incerta

4.4 Condições de Carbonatação do Concreto

A Tabela 2 mostra os resultados do ensaio de carbonatação realizado no concreto de alguns pilares do estádio de futebol.

Tabela 2 – Espessura carbonatada em relação a espessura de cobrimento de pilares do estádio de futebol João Machado.

Locais Ensaiaados(*)	Espessura Carbonatada e_1 (cm)	Espessura de Cobrimento e_2 (cm) (**)	Situação	Condição de carbonatação	Peça Estrutural
23	0,2	2,0	$e_2 > e_1$	não prejudicial	PILAR
33	0,0	1,5	$e_2 > e_1$	não carbonatado	
45	0,8	1,5	$e_2 > e_1$	não prejudicial	
52	0,0	1,5	$e_2 > e_1$	não carbonatado	
64	1,4	1,5	$e_2 > e_1$	não prejudicial	
68	1,4	1,5	$e_2 > e_1$	não prejudicial	
69	1,8	2,0	$e_2 > e_1$	não prejudicial	

(*) Locais ensaiados: vide croqui da Figura 1 para a localização dos pilares ensaiados nos testes de carbonatação.

(**) Espes. De cobrimento (e_2) : valores de cobrimento efetivamente encontrados.

Como pode-se observar nos resultados, a frente de carbonatação não atingiu a profundidade das armaduras, o que nos leva à conclusão de que seguramente a carbonatação observada nos pilares não tem relação com a corrosão existente nos mesmos. Isto porque o ambiente que envolve as barras ainda não sofreu processo de carbonatação e, portanto, ainda resguarda a alta alcalinidade necessária à passivação e durabilidade dessas barras⁽³⁾.

4.5 Teores de Cloretos nas Estruturas

A tabela 3 apresenta os resultados dos teores de cloretos encontrados em cada ponto e profundidade amostrados, expressos em relação à massa de cimento.

Tabela 3 – Resultados dos teores de cloretos livres presentes em amostras de concreto das estruturas do estádio, de acordo com os locais e profundidades amostrados; sendo as percentagens expressas em relação à massa de cimento.

Pontos de Coleta (*)	Amostras	Profundidade Amostrada (cm)	Teores de Cloretos (%)	Peça Estrutural
69	1	0,0 – 1,0	0,51	PILAR
	2	1,0 – 2,0	0,51	
68	3	0,0 – 1,0	0,57	
	4	1,0 – 2,0	0,61	
45	5	0,0 – 1,0	0,41	
	6	1,0 – 2,0	0,43	
52	7	0,0 – 1,0	0,62	
	8	1,0 – 2,0	0,64	
33	9	0,0 – 1,0	0,38	
	10	1,0 – 2,0	0,42	

(*) Pontos de Coleta: vide croqui da Figura 1 para a localização dos pilares ensaiados.

Não existe um acordo sobre o limite de cloretos a baixo do qual seja possível afirmar que não haverá ataque às armaduras, uma vez que isso depende de inúmeras variáveis, como do tipo de cimento, finura e proporção de aluminato tricálcico; do consumo de cimento por metro cúbico de concreto; do estado da superfície do aço e outros. Devido a isso as normas dos diferentes países não coincidem e especificam diferentes limites ⁽²⁾.

Como limite muito geral considera-se 0,4% em relação à massa de cimento. Ainda assim encontrou-se armaduras corroídas em concretos com teores inferiores a esses limites, assim como armaduras não corroídas em concretos com teores muito superiores a esses limites ⁽²⁾. A Tabela 4 apresenta os limites máximos de cloretos prescritos por alguns organismos e entidades normativas internacionais.

Tabela 4 – Conteúdo de cloretos limite proposto por diversas normas (%em relação à massa de cimento).⁽¹⁾

Normas	Teor de Cl ⁻ para concreto armado (%)
EH – 88	0,40
Pr EN – 206	0,40
BS – 8110/85	0,20 – 0,40 *
ACI – 318/83	0,15 – 0,30 – 1,00 **

* O limite varia em função do tipo de cimento

** O limite varia em função da agressividade ambiental.

De acordo com os valores limites apresentados na Tabela 4 e comparando-os com os dados obtidos na inspeção do estádio (Tabela 3), determina-se que entre 0,0 e 2,0 cm, ocorrem valores altos de cloretos em relação à massa de cimento, cuja variação nessa faixa foi de 0,38% a 0,64%. Uma vez que a espessura de cobrimento de concreto verificada no estádio é da ordem de 1,5 cm, temos então que as armaduras estão inseridas num ambiente altamente contaminado por cloretos.

Segundo *CASCUDO E REPETTE* ⁽³⁾, cabe ainda analisar, com relação aos cloretos, a forma como eles se concentram e se distribuem ao longo da massa de concreto. É de conhecimento existirem duas maneiras pelas quais os cloretos se fazem presentes no concreto: quando provêm de impregnação externa ou quando são incorporados à massa durante a mistura do concreto.

A impregnação externa ocorre quando a contaminação do concreto é motivada por fatores oriundos do ambiente externo, como podem ser a presença de névoa salina, o contato com a água do mar e a ação de vapores e efluentes industriais contendo cloretos. Neste caso, a concentração dos cloretos tende a ser mais elevada nas superfícies do concreto, diminuindo gradualmente para o interior das peças estruturais.

Já por incorporação à massa de concreto, durante a mistura, entende-se a contaminação pelo uso de águas ou agregados contendo cloretos ou, como é mais freqüente e expressivo, através do emprego de aceleradores de pega e endurecimento à base de cloreto de cálcio. Neste caso, os teores de cloretos não apresentam a tendência de diminuição da superfície para o interior das peças, mantendo-se os valores dentro de uma mesma ordem de grandeza, qualquer que seja a profundidade amostrada. Podem, no entanto, ocorrer taxas menores de cloretos nas faces expostas das peças, devido à ação extrativa superficial causada pelas águas das chuvas.

No caso do estádio em estudo, nota-se que em todos os resultados obtidos (Tabela 3), os teores de cloretos se elevam com a profundidade de coleta das amostras, indicando que houve contaminação por incorporação à massa do concreto, possivelmente devido a utilização do acelerador de pega Lastimam bz e de agregados contaminados com cloretos, utilizados na confecção do mesmo.

Outro aspecto que deve ser observado é a pequena diferença entre os valores dos teores encontrados em profundidades diferentes, indicando um forte indício de que houve também contaminação externa, devido ao estádio estar localizado a aproximadamente 3,5 km do mar num ambiente altamente agressivo e impregnado por íons cloretos.

4.6 Conclusões

De acordo com os dados obtidos na inspeção preliminar e na detalhada, as seguintes conclusões podem ser tiradas.

- Pelas patologias apresentadas (presença de fissuras de corrosão acompanhando o sentido longitudinal das barras nas peças estruturais, deslocamento do concreto, armaduras expostas e com perda de seção, produtos de corrosão expansivos no entorno das barras, manchas de óxidos, alguns estribos rompidos etc) constatou-se ser a corrosão das armaduras o fenômeno eminente de deterioração da estrutura. Esta corrosão foi facilitada e acelerada pela:
 - falta de impermeabilização da marquise, resultando no acúmulo de água na face superior da mesma; isto causa uma sobrecarga estrutural e uma conseqüente infiltração, que resulta na lixiviação dos álcalis do concreto (Foto 2), diminuindo assim o pH no interior do mesmo;
 - pequena espessura de cobrimento e alta porosidade do concreto;
 - falta de cuidado dos construtores, que deixaram armaduras expostas ao meio ambiente;
 - utilização de compensados nas juntas de dilatação, causando um aumento da umidade no local e o aparecimento de eflorações;
 - falta de um programa adequado de manutenção, que juntamente com as falhas que ocorreram na sua construção, contribuíram para a conseqüente deterioração da estrutura.

- As patologias se mostraram presentes em aproximadamente 80% das estruturas do estádio, sendo mais intensas na região sudeste do estádio, que recebe grande incidência dos ventos. As marquises e arquibancadas, em geral, apresentam um nível de deterioração muito acentuado; as vigas e pilares, em menor escala, também se mostram com problemas.
- A carbonatação do concreto nos pilares é inexpressiva, podendo ser descartada como causa desencadeante do processo corrosivo.
- A análise dos resultados do ensaio para determinação do teor de cloretos aponta os íons Cl⁻ em excesso presentes no concreto, como os principais agentes causadores do processo de corrosão das armaduras do estádio. Nota-se pelos valores obtidos, que estes íons estão presentes por terem sido incorporados ao concreto quando da execução da estrutura, possivelmente devido ao emprego do acelerador de pega Lastimam bz à base de cloreto de cálcio, e a contaminação externa, proveniente da atmosfera marinha, rica em cloretos, da cidade de Natal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto : inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo, Pini, 1997.
2. ANDRADE, C. Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras; tradução e adaptação Antônio Carmona e Paulo Helene.—São Paulo : Pini, 1992
3. CASCUDO, O.; REPETTE, W. L. A ação deletéria de cloretos em estruturas de concreto armado de edifícios residenciais - um caso real. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 37., Goiânia, 1995. Anais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, 1995. B. 1, p. 219-31.
4. HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo, Pini/IPT, 1986. 47p.
5. HELENE, P. R. L. Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. 1. Ed. São Paulo, Pini, 1988.
6. GENTIL, V. Corrosão. 2. Ed. Rio de Janeiro, Guanabara, 1987.
7. SILVA, P. F. A. Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. São Paulo, Pini, 1995.
8. MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M., Concreto, Propriedades e Materiais. São Paulo, Pini, 1994.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos químicos Roberto Lima e Hélio Scatena do Laboratório de Tintas e Corrosão da UFRN, pela realização dos ensaios; aos acadêmicos de engenharia civil Marcus Venícios, Wagner Gurgel e George Gosson; ao professor Oswaldo Cascudo Matos da UFG, pelas discussões; bem como aos alunos da Universidade Potiguar, pela aquisição do histórico da obra.