



Manoel Fernandes de Negreiros Neto

**A CONSTRUÇÃO DA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO POTENGI:
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONSTRUTIVOS E DE DURABILIDADE -
NATAL/RN, BRASIL (1912-1916) – ESTUDO DE CASO.**

**Natal
2013**

Manoel Fernandes de Negreiros Neto

**A CONSTRUÇÃO DA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO POTENGI:
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONSTRUTIVOS E DE DURABILIDADE -
NATAL/RN, BRASIL (1912-1916) – ESTUDO DE CASO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Jaquelígia Brito da Silva

Natal
2013

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Negreiros Neto, Manoel Fernandes de.

A construção da ponte metálica sobre o rio Potengi: aspectos históricos, construtivos e de durabilidade – Natal/RN (1912-1916): estudo de caso / Manoel Fernandes de Negreiros Neto. – Natal, RN, 2013.

84 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Jaquélgia Brito da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Ponte metálica – Aspectos históricos - Dissertação. 2. Processos construtivos - Dissertação. 3. Propriedades tecnológicas – Construção civil - Dissertação. I. Silva, Jaquélgia Brito da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624.21:94

MANOEL FERNANDES DE NEGREIROS NETO

**A CONSTRUÇÃO DA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO POTENGI:
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONSTRUTIVOS E DE DURABILIDADE -
NATAL/RN, BRASIL (1912-1916).
ESTUDO DE CASO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Jaquelígia Brito da Silva – Orientadora

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Junior – Examinador Interno

Profa. Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá – Examinadora Interna

Prof. Dr. Ricardo Nascimento Flores Severo – Examinador Externo

Natal, 2013.

A CONSTRUÇÃO DA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO POTENGI: ASPECTOS HISTÓRICOS, CONSTRUTIVOS E DE DURABILIDADE - NATAL/RN, BRASIL (1912-1916). ESTUDO DE CASO.

Manoel Fernandes de Negreiros Neto

Orientadora: Profa. Dra. Jaquelgia Brito da Silva

RESUMO

É um estudo de caso que relata a construção da ponte em treliça metálica sobre o rio Potengi em Natal, Estado do Rio Grande do Norte, entre os anos de 1912 e 1916. A partir de apreciações sobre pontes metálicas no Brasil e no mundo inclusive fundações. Foi realizada uma pesquisa documental a partir da obtenção dos projetos e contratos. Uma cronologia da construção, com a descrição de equipamentos utilizados e de seu orçamento original com o governo brasileiro. Utilizaram-se ainda, entrevistas e pesquisas experimentais com coleta de amostras/testemunhos, ensaios em laboratório.

O presente trabalho tem como objetivo analisar historicamente e tecnicamente a Ponte sobre o Rio Potengi, ressaltando, primordialmente, o processo construtivo, as qualidades e características dos materiais utilizados e as propriedades tecnológicas, químicas, mineralógicas e microestruturais do cimento e do concreto empregados em sua construção. Tendo-se como conclusões que cimentos pozolônicos garantiram uma boa durabilidade ao concreto em um período de cem anos e que a solução empregada com tubulões à ar comprimido foi acertada.

Palavras-chave: Ponte metálica; aspectos históricos; processos construtivos; propriedades tecnológicas.

**THE CONSTRUCTION OF THE IRON BRIDGE OVER THE POTENGI RIVER: HISTORICAL, CONSTRUCTIVES AND DURAE TY ASPECTS - IN NATAL, BRAZIL (1912-1916).
CASE STUDY.**

Manoel Fernandes de Negreiros Neto

Adviser: Profa. Dra. Jaquelígia Brito da Silva

ABSTRACT

It is a case study that reports the construction of metal truss bridge in the river Potengi in Natal, Rio Grande do Norte, between the years 1912 and 1916.

From testimonials on steel bridges in Brazil and worldwide including foundations. Documentary research from procurement of projects and contracts was performed. A chronology of construction, with a description of the equipment used and its original budget with the Brazilian government. Still, we used interviews and surveys with experimental sampling / testimonies, laboratory tests.

This study aims to analyze historically and technically the Bridge over the River Potengi, emphasizing primarily the construction process, the qualities and characteristics of the materials used and the technological, chemical, mineralogical and microstructural properties of cement and concrete used in its construction. Taking as conclusions that cements pozolônicos ensured a good durability to the concrete in a hundred-year period and that the solution employed with the compressed air caissons was right.

Key-words: Iron bridge; historical aspects; constructive processes; technological proprieties.

Dedico este trabalho a minha mulher
Verônica e aos meus filhos Álvaro e
Augusto Negreiros.

AGRADECIMENTOS

A professora Jaquelígia Brito da Silva, minha orientadora acadêmica, por todas as contribuições diretas e indiretas para o meu crescimento.

A professora Maria das Vitorias Almeida Vieira Almeida de Sá, sempre atenta a me atender.

Ao professor Olavo dos Santos Júnior, por gentilmente ter me orientado quanto as pesquisas nas fundações.

Ao professor Paulo Alysson, sempre de portas abertas no laboratório de concreto da UFRN.

A todos, sem exceção, os professores do PEC da UFRN. Foram aulas e momentos relevantes de contribuição na minha aprendizagem.

Ao professor Julio César Freitas, do laboratório de cimento, e especialmente ao bacharel em química Rodrigo Melo pela descoberta da fase katoita no cimento antigo.

A professora Helenice Vidal, do departamento de geologia da UFRN pelas grandes possibilidades de pesquisas que abriu na minha mente.

Aos professores Raimundo Arrais e Helder Viana do departamento de História da UFRN pelos primeiros incentivos e verdadeiros impulsionadores dessa pesquisa.

Agradeço a NUPEG pelos ensaios de Teor de Cloretos na massa do concreto.

Aos professores Yuri Simonini, Gabriel Medeiros, George Dantas e Angela Ferreira do HCUrb da UFRN.

A todos, e não foram poucos, que deram contribuição a esse trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1 – Local das extrações de testemunhos.....	24
Figura 4.1.1 – As 04 pontes sobre o Rio Potengi.....	27
Figura 4.1.2 - Projeto do Ministério de Viação e Obras Públicas.....	29
Figura 4.1.3 – Projeto da E.F.S.C. em escala 1:100.....	30
Figura 4.1.4 – A treliça tipo “Pratt” principal de 70,00 metros.....	31
Figura 4.1.5 – As indicações rudimentares das diversas camadas.....	33
Figuras 4.1.6 e 4.1.7 – O projeto e o real hoje.....	34
Figuras 4.1.8 e 4.1.9 – O concreto aparente moldado em formas metálicas..	35
Figuras 4.1.10 e 7.1.11 – Projeto e estrutura metálica atual.....	36
Figuras 4.1.12 e 4.1.13 – Projeto e foto mostrando os apoios.....	37
Figura 4.1.14 – Seção transversal da maior treliça, do vão de 70 metros.....	38
Figura 4.1.15 – Detalhes dos projetos das treliças da Ponte de Igapó.....	39
Figuras 4.1.16 e 4.1.17 – Rebites ordenados.....	40
Figura 4.1.18 – Corte G-H mostrando a seção superior da treliça espacial....	41
Figura 4.1.19 – Vista da treliça do segundo vão mais à margem direita.....	42
Figura 4.1.20 – As maiores vigas em I da estrutura são as de 36 polegadas.	42
Figura 4.1.21 – Detalhes da estrutura do tabuleiro.....	43
Figura 4.1.22 – Projeto mostrando o assentamento das sapatas.....	44
Figura 4.1.23 – O Boletim de sondagem.....	45
Figura 4.1.23 – O caixão pneumático esquematizado.....	46
Figuras 4.1.24 e 4.1.25 – Métodos de ajustamento de caixões.....	48
Figura 4.1.26 – A treliça “Pratt” e seus detalhes.....	52
Figura 4.1.27 - Foto constante no livro da empresa inglesa	52
Figura 4.2.1 – Local das extrações.....	60
Figura 4.2.1.1 - Face polida de um corpo de prova extraído.....	61
Figura 4.2.1.4. - MEV 500 vezes.....	63
Figura 4.2.1.5. - MEV 5.000 vezes.....	63
Figura 4.2.2.1 – Fases mostrando a Katoita.....	67
Figura 4.2.2.2.1- Difratograma do cimento utilizado.....	72
Figura 4.2.2.1.2 - Difratograma do concreto utilizado.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1.1 - A composição de preços tirada de uma tabela geral.....	50
Tabela 4.2.2.1 – Tabela correlacionando a katoita com Silicato de Cálcio...	67
Tabela 4.2.2.2 – Percentuais dos Compostos Mineralógicos.....	68
Tabela 4.2.2.3 - Tabela da ABCP.....	69
Tabela 4.2.2.4 – Tabela de Ludmila R. S. de Mattos1.....	70
Tabela 4.2.2.2.1 – FRX do cimento hidratado.....	72
Tabela 4.2.2.2.2 – FRX do concreto.....	73

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

APCM – Associated Portland Cement Manufacturers Ltd.

CBUK - Cleveland Bridge Engineering Ltd.

CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

CVCSA - Companhia de Viação e Construções AS.

DER-RN – Departamento de Estradas de Rodagem do RN.

DOU – Diário Oficial da União.

DRX – Difração de raios X.

EFCRGN - Estrada de Ferro Central do Rio Grande do Norte.

EFSP - Estrada de ferro Sampaio Correia.

FIERN – Federação das Indústrias do Rio Grande do Norte.

FRX – Fluorescência de raios X.

GWBR - Great Western Brazilian Railway Company.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto.

IFRN – Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Norte.

IHGRN - Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Norte.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Lbs – Libra-força.

MVOP – Ministério de Viação e Obras Públicas.

NNC - The Imperial Brazilian Natal Nova Cruz Railway Company Limited.

OAE – Obra de Arte Especial.

PERT- Program Evaluation and Review Technique.

RFFSA - Rede Ferroviária Federal SA.

RU – Reino Unido.

SENAI-CTGAS-ER – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto.

UK – United Kingdom.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 – Introdução.....	15
1.1- Objetivo.....	15
1.2- Justificativa.....	15
CAPÍTULO 2 – Revisão Teórica.....	19
2.1- Pontes Metálicas – Especificidades.....	19
2.2- Pontes Metálicas no Brasil e no Mundo.....	19
2.3- Estruturas de Fundação em concreto armado para Pontes.....	20
CAPÍTULO 3 – Metodologia.....	22
3.1- Pesquisa Documental.....	22
3.1.1- Obtenção dos Projetos.....	22
3.1.2- Dados sobre os Projetos e os Contratos.....	22
3.2- Pesquisa Experimental.....	23
3.2.1- Coleta das Amostras.....	23
3.2.2- Ensaio Tecnológicos.....	24
3.2.2.1- Carbonatação.....	25
3.2.2.1.2- Cloretos.....	25
3.2.2.2- Ensaio em Laboratório	25
3.2.2.2.1- Porosidade, Absorção, Resistência à Compressão, Microscopia Eletrônica de Varredura.....	26

3.2.2.2.2- Difractometria e fluorescência de raios X do cimento utilizado na Construção dos pilares.....	26
CAPÍTULO 4 – Resultados e Discussões.....	27
4.1- Resultados da Pesquisa Documental.....	27
4.1.1- Cronologia da Construção.....	54
4.1.2- Equipe Técnica.....	55
4.1.3- Orçamento.....	56
4.1.4- Equipamentos.....	58
4.1.5- Término da Construção.....	59
4.2- Resultados da Pesquisa Experimental.....	60
4.2.1- Testemunhos do Pilar P 9.....	60
4.2.1.1- Porosidade.....	61
4.2.1.2- Absorção.....	62
4.2.1.3- Resistência à Compressão.....	62
4.2.1.4- Microscopia Eletrônica de Varredura.....	62
4.2.2- Análise mineralógica e química do cimento original utilizado nas estruturas de concreto armado dos pilares.....	64
4.2.2.1- Difractometria de raios X.....	71
4.2.2.2- Fluorescência de raios X.....	73
CAPITULO 5 - Conclusões e sugestões.....	77
5.1- Conclusões.....	77
5.2- Sugestões para trabalhos futuros.....	78

REFERÊNCIAS	79
-------------------	----

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1- Objetivo

O objetivo geral dessa pesquisa é de investigar documentalmente, historicamente e experimentalmente a qualidade do concreto e o desempenho das fundações e ao processo construtivo da ponte metálica sobre o Rio Potengi.

Os objetivos específicos são:

- Investigar os profissionais de engenharia envolvidos na construção da ponte;
- Apresentar os equipamentos utilizados durante a sua construção;
- O método construtivo das estruturas de fundação.

1.2- Justificativa

Por ter a idade de quase 100 anos e se encontrar aparentemente em bom estado, é de alto interesse técnico e científico um estudo detalhado da ponte metálica sobre o Rio Potengi, utilizando técnicas de investigação que possam sinalizar o diferencial do seu processo construtivo, no que diz respeito aos seus materiais constituintes, projetos, método construtivo e qualificação da equipe técnica da época.

Outro fator que justifica a relevância desta pesquisa é a contribuição histórica do estudo. A ponte metálica do Rio Potengi, construída na época em que Natal era uma pequena cidade de aproximadamente 12.000 habitantes. Arquivos, documentos, entrevistas, tudo revela o quadro da época da construção, incluindo seus aspectos específicos e suas limitações, ou seja, o desencadear da história durante o processo construtivo propriamente dito.

O processo construtivo adotado nas grandes obras de engenharia do mundo, sempre foi fortemente influenciado por aspectos históricos peculiares existentes em

cada região. Esses aspectos estão diretamente associados aos recursos tecnológicos e à mão de obra especializada disponível em cada época.

Mesmo considerando que com o passar dos anos a inovação tecnológica contribuiu potencialmente para o aumento da qualidade e durabilidade das construções, existem obras centenárias, no cenário nacional, que continuam sendo consideradas elementos de destaque em meio à construção civil.

A ponte metálica do Rio Potengi, construída na época em que Natal era a Capital da Província do Rio Grande do Norte, em 1912, foi considerada durante muitos anos, a maior ponte metálica do Norte Nordeste do Brasil.

1.3- Descrição dos Capítulos

CAPÍTULO 1 – Introdução.

Objetivos e justificativas do estudo de caso.

CAPÍTULO 2 – Revisão Teórica

Capítulo abordando uma revisão teórica sobre pontes metálicas, como elas são, quais os principais tipos. As principais primeiras pontes metálicas no Brasil e os anos de suas construções. Descrição dos principais tipos de fundações profundas para uma ponte rodoferroviária.

CAPÍTULO 3 – Metodologia

Neste capítulo como premissa inicial partiu-se para a pesquisa documental em Institutos Históricos e Geográficos das cidades do Natal e do Rio de Janeiro, no Arquivo Nacional, na Rede Ferroviária Federal e na sede da Cleveland Bridge empresa subcontratada pelo construtor brasileiro. Com a obtenção dos projetos foram realizadas medições “in loco” para comparativo entre projeto e o

realizado/encontrado. Além dessa metodologia foram realizadas diversas fotografias para comparativos de ângulos.

Com contratos e orçamentos da época encontrados foram tomadas as primeiras deduções do método executivo das execuções das fundações e das montagens das treliças.

Foram coletadas as amostras de testemunhos de corpos de provas de concreto para rompimento e ensaios de absorção e porosidade, além de carbonatação, presença de cloretos e pH.

Por fim foram realizados ensaios de DRX e FRH tanto em amostras do concreto retirado quanto em cimento guardado no Instituto Histórico e Geográfico do rio Grande do Norte.

CAPÍTULO 4 – Resultados e Discussões

Neste capítulo foram apresentados e descritos os resultados com pesquisa documental realizadas discussões com esses resultados. Como resultado relevante pode-se citar o perfeito nivelamento e prumo dos blocos de fundações e o alto resultado das resistências à compressão dos dois exemplares ensaiados. O pouco ataque dos cloretos e a pouca penetração da carbonatação apesar do baixo pH apresentado.

CAPITULO 5 - Conclusões e sugestões

Conclusões objetivas foram apresentadas nesse capítulo, todas oriundas dos resultados diretos de ensaios principalmente.

As sugestões para mais pesquisas foram registradas.

CAPÍTULO 2

Revisão Teórica

2.1- Resumo do Capítulo

Este capítulo versa sobre o que são pontes metálicas treliçadas e como são as principais formas de fundações de apoios para os vãos. Onde primeiramente surgiram no mundo e as primeiras montadas no Brasil.

2.2- Pontes em Treliça Metálica – Especificidades

As treliças são consideradas Sistemas Triangulados que são estruturas formadas por elementos resistentes chamados de barras que encontram-se ligados entre si por articulações chamados de nós. Estes nós são considerados perfeitos para efeito de cálculo estrutural.

Na definição de treliça as cargas somente são aplicadas nos nós, não havendo, assim a transmissão de momento fletor entre os elementos dessa. Assim as barras da treliça ficam sujeitas apenas a esforços normais de tração ou compressão. Assim as treliças têm articulações perfeitas e têm articulações de rotação livre, chamadas de rótulas.

A treliça Pratt, utilizada especificamente no rio Potengi é facilmente identificada pelos seus elementos diagonais que, com exceção dos extremos, todos eles descem e apontam para o centro do vão. Exceto os elementos diagonais do meio e próximos ao meio, todos os outros elementos diagonais estão sujeitos somente à tração, enquanto os elementos verticais, os montantes, suportam as forças de compressão. Isto permite que os elementos diagonais possam ser delgados, fazendo com que o projeto utiliza menor massa de aço.

2.3- Pontes Metálicas no Brasil e no Mundo

A primeira ponte metálica em arco do mundo é a “Iron Bridge” que cruza o rio Severn fica em Shopshire, Inglaterra e foi construída em 1779. Tem um comprimento de 61 m e o maior vão de 30 m. Ref. http://en.wikipedia.org/wiki/The_Iron_Bridge

No Brasil, segundo Vasconcelos, (1993), p.95, a ponte ferroviária metálica em treliça mais antiga é a que cruza o rio Paraguassu na Bahia, ligando as duas cidades de Cachoeira e São Félix. É a ponte Imperial Dom Pedro II cujas treliças foram trazidas da Inglaterra e inaugurada em 1885. A ponte Imperial Dom Pedro II é composta de 02 vãos centrais de 91,50 m e de dois vãos extremos de 86,00 m, somando 355,00 m. É composta em treliça tipo Warren, onde não há montantes na vertical e sim múltiplas diagonais. Os banzos inferior e superior são em paralelo e estão distantes 7,92m entre si. Os passadiços para pedestres estão por fora. As fundações, num total de três, foram executadas diretamente sobre rocha. Os pilares são de cantaria de granito. Essa ponte foi calculada para 4 tf/m. Não há nenhuma descrição pormenorizada, mas pelas fotografia é possível se identificar que os 04 vãos são isostáticos.

Em 1912 se iniciaria a construção da ponte sobre o rio Jacuhype a 15 Km de feira de Santana. É conhecida como Ponte Rio Branco e seu término só ocorreu em 1917. É uma ponte em treliça Warren segundo Vasconcelos (1993), pg. 98.

Outra estrutura metálica digna de registro é o Viaduto Santa Efigênia em São Paulo, cruzando o Vale do Anhangabaú, ligando o Largo de São Bento ao largo Santa Efigênia. Teve várias tentativas de construção, e efetivamente se iniciando em 1911 com término em 1913. São 03 arcos de 53,50 m rotulados e flecha de 7,5 m, com o tabuleiro na parte superior. Sendo o comprimento total de 225 m incluindo os vãos de acessos. Sendo esta citada igualmente por Vasconcelos (1993), pg 74.

2.4- Estruturas de Fundação em Concreto Armado para Pontes

Segundo Gusmão Filho (2008), a fundação de uma ponte é o elemento que suporta, com estabilidade toda a estrutura e cargas estáticas e as cargas dinâmicas.

As fundações de uma ponte podem ser em:

1. Sapatas;
2. Estacas batidas de madeira, de aço ou de concreto armado;
3. Tubulão a céu aberto;
4. Tubulão a ar comprimido;
5. Caixaão.

Segundo, Alonso e Golombek (1998) para executar tubulões em solos onde haja água e não seja possível esgotá-la devido ao perigo de desmoronamento das paredes do fuste, utilizam-se tubulões a ar comprimido ou pneumáticos com camisa de concreto ou de aço.

CAPÍTULO 3

Metodologia

3.1- Pesquisa Documental

Foram efetuadas pesquisas na RFFSA – Rede Ferroviária Federal SA, no Arquivo Nacional e na sede da construtora Cleveland Bridge Engineering UK. Foram, ainda efetuados contatos por meio eletrônico com a família do engenheiro projetista.

Muito do acervo fotográfico foi obtido pela internet em diversos sites devidamente registrados.

3.1.1- Obtenção dos Projetos

Foram obtidos os seguintes projetos:

3.1.1.1- Projeto Geral: Detalhes de locação e assentamento de fundações, pilares e treliças.

3.1.1.2- Projeto de Treliças: Detalhes de vãos de 50 e o de 70,00 m. Detalhes dos Passadiços. Cortes de seções e detalhamento de perfis metálicos.

3.1.2- Dados sobre Projetos e os Contratos

O projeto geral encontrado é um projeto “as built” que o construtor mandou fazer e assinou em 29 de fevereiro de 1914, o que indica que o projeto e execução já estavam consolidados nessa data.

O projeto constitui-se de nove vãos de 50,00 m e um vão de 70,00 m à esquerda do pilar central tomando-se uma vista à montante.

As fundações são constituídas de nove tubulões de 6,00 m de diâmetro e profundidades variáveis, sendo apoiados em camada indicada como “cascalho” segundo o projeto. Cada tubulão desse, antes de chegar a superfície da água é transformado em pilar retangular formado por dois semicírculos nas bordas com 7,30 m por 2,40 de largura e comprimento. Estando assim 65,00 cm maiores, nas bordas, do que os tubulões no sentido longitudinal.

As treliças metálicas foram forjadas e moldadas nas seguintes aciarias; A Dorman Long, a Frondingham Iron & Steel e a Lanarkshire Iron todas do Reino Unido. Todo o projeto estrutural, cortes e furos foram executados nas oficinas da Cleveland Bridge Engineering Co ltd em sua sede de Darlington RU e enviados de navios para Natal no ano de 1912. São do tipo “Pratt” onde as diagonais só sofrem esforços de tração que são transmitidos para o banzo superior que são em forma de arco romano.

A peça contratual mais relevante da construção da ponte é o orçamento apresentado adiante no capítulo 3.1.3, e aprovado pelo decreto n.8.372, de 11 de Novembro de 1910. Fonte: Arquivo Nacional.

3.2- Pesquisa Experimental

3.2.1- Coleta das Amostras

Foram coletadas amostras em 03 extrações de testemunhos, sendo 02 cerrados nas dimensões de diâmetro 10 cm x 20 cm de altura. Essas amostras foram obtidas do pilar N^o 09 da ponte que corresponde ao primeiro da margem direita do rio.

Essa coleta foi aí procedida por ser o pilar de mais fácil acesso, de baixa correnteza do rio e que ficava o mais próximo possível de uma tomada de corrente elétrica.

Figura 3.2.1 – Local das extrações de testemunhos e ensaios tecnológicos descritos a seguir Pilar-bloco de número 09 a partir da margem esquerda do rio. Foto: Esdras R. Nobre.



3.2.2- Ensaios Tecnológicos

Foram realizados os seguintes ensaios:

- a) Presença e profundidade de Carbonatação. In-loco – pilar 09. Presença e profundidade de Cloretos. In-loco – pilar 09.
- b) Extração e Rompimento de dois corpos-de-prova.
- c) Ensaio de Porosidade.
- d) Ensaio de Absorção.
- e) Ensaio de Teor de Cloretos na massa do concreto.
- f) MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura.
- g) DRX- Difração de raios X.
- h) FRX – Fluorescência de raios X.

3.2.2.1.1- Carbonatação

Foi utilizada a aspersão de solução de fenolftaleína na proporção de 1% de fenolftaleína e 49% de álcool etílico em 1.000 ml de água destilada na superfície vertical, na face voltada para a margem esquerda, do bloco de pilar N^o 9.

Realizou-se, também, a aspersão nas faces superior externa dos corpos de provas 1 e 2 extraídos. Sendo identificadas as profundidades de Carbonatação atingidas.

3.2.2.1.2- Cloretos

Foi utilizada a aspersão de solução de nitrato de prata na proporção de 1% Nitrato de Prata em 1.000 ml de água destilada na superfície vertical, na face voltada para a margem esquerda, do bloco de pilar N^o 9.

A aspersão nas faces superiores externas dos corpos de provas 1 e 2 extraídos, foram idem realizadas. Sendo identificadas as profundidades de penetração dos Cloretos.

3.2.2.2- Ensaio em Laboratório

Os ensaios de laboratório abaixo descritos foram realizados nos Laboratórios de Materiais de Construção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte no ano de 2010.

3.2.2.2.1- Porosidade, Absorção, Resistência à Compressão, Microscopia Eletrônica de Varredura

Com os testemunhos de N^o 1 e N^o 2 foram realizados os ensaios de Porosidade, absorção, em 29 de abril e 6 de maio de 2010 respectivamente, usando-se o método de cura com imersão em água obedecendo-se a norma NBR 9778.

Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada a norma NBR 5739. Ambos os testemunhos foram rompidos em 7 de maio de 2010.

Com o testemunho de N^o 3, no qual ocorreu uma trinca quando de sua extração, foram serrados 6 tabletes de 25 x 25 x 8 mm para a realização do MEV, tendo sido essas amostras examinadas nos laboratórios da UFRN, onde foram visualizadas ampliações de 18 a 5.000 vezes, no dia 5 de maio de 2010.

3.2.2.2.2- Difratomia e fluorescência de raios X do concreto e do cimento utilizado na construção dos pilares

A difratometria e fluorescência de raios X foram realizadas, nas amostras do concreto e do cimento nos laboratórios do SENAI-CTGAS-RN com resultados em 13 de maio de 2010.

Em 2012 foram realizadas novas difratometrias de raios X somente na amostra cimento realizando-se vários refinamentos nos laboratórios de cimentos da UFRN.

CAPÍTULO 4

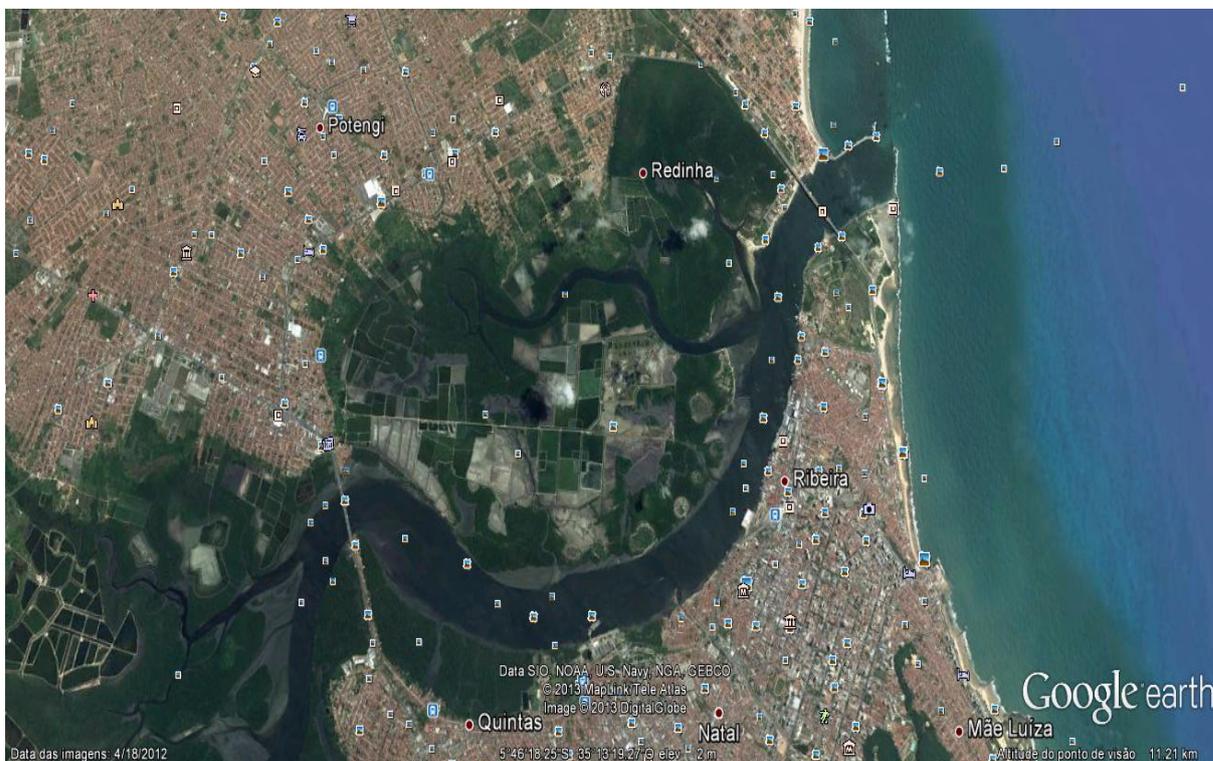
Resultados e discussões

4.1- Resultados e discussão da Pesquisa Documental

Na RFFSA – Rede Ferroviária Federal SA, foram obtidos os projetos gerais e detalhados.

Comparações foram realizadas para se comparar o resultado da pesquisa documental com a ponte e seus componentes existentes

Figura 4.1.1 – As 04 pontes sobre o Rio Potengi: A primeira, objeto desse estudo, construída em 1916 pela Cleveland Bridge, a segunda em concreto armado construída em 1970 pela Norberto Odebrecht, a terceira em concreto armado construída pela Queiroz Galvão em 1988 e a quarta mais à jusante já na boca da barra é uma ponte estaiada construída, também, pela Queiroz Galvão em 2007. Fonte: Google Earth acessado em 26.01.2013.



No tempo da Escola Militar que se transformou na Poly do Rio, em 1859, tivemos um orçamento do Coronel do Imperial Corpo de Engenheiros, o Dr. Ricardo J. G. Jardim. Desse projeto só ficou o seu orçamento de 132 contos, oitocentos e dez reis.

A decisão do local onde foi erguida a ponte ferroviária metálica sobre o Potengi não poderia ter sido melhor. Tudo era favorável naquele estreitamento de rio. Até a proximidade da próxima estação que o trecho de ferrovia deveria encontrar.

Figura 4.1.2 - Projeto do Ministério de Viação e Obras Públicas quando copiado de um original para o projeto de adaptação para transformá-la em ponte rododiferroviária. Fonte: M.V.O.P – Arquivo Nacional. Projeto da ponte. Ver pág 45.

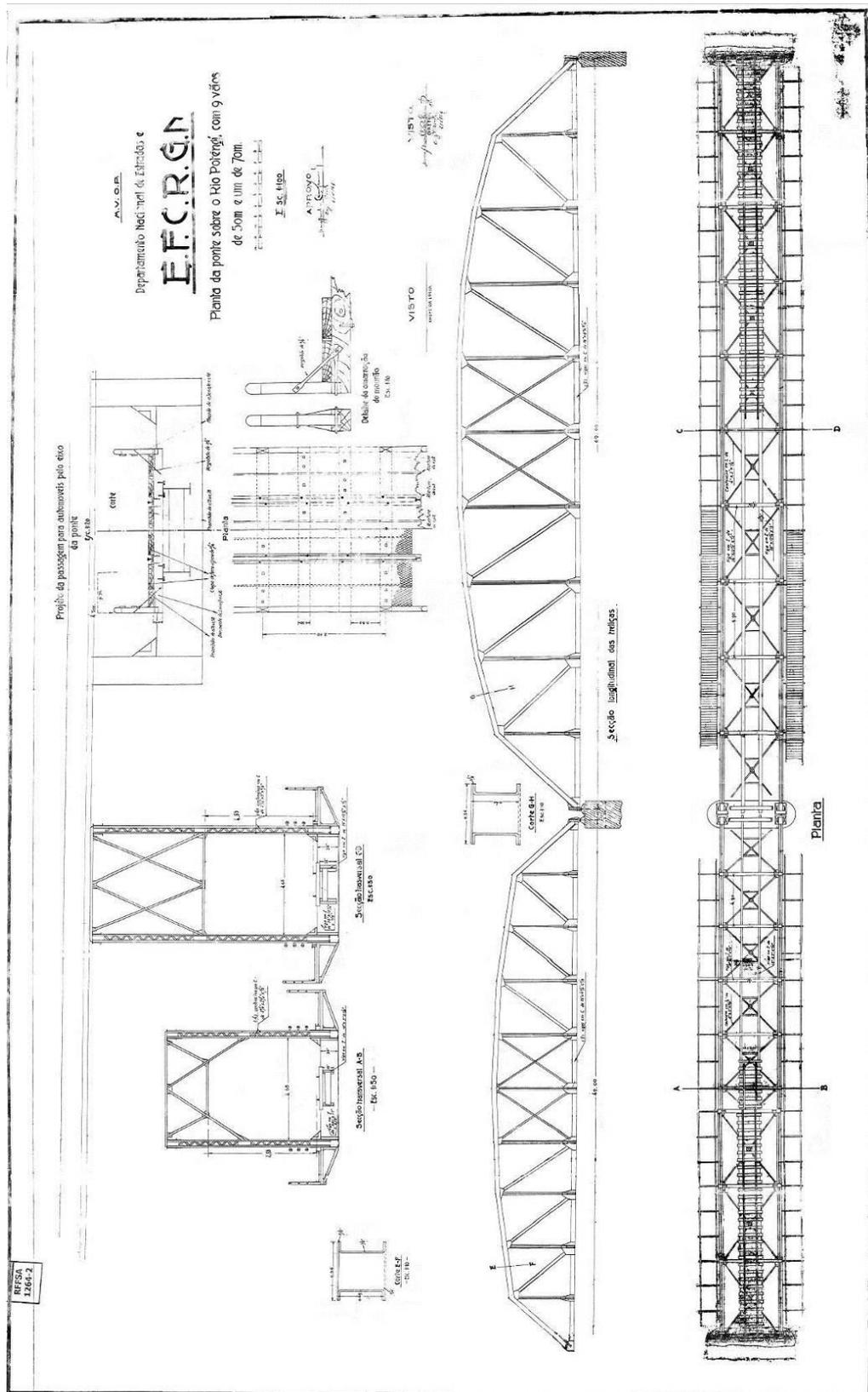


Figura 4.1.3 – Projeto da E.F.S.C. em escala 1:100, sem data, mostrando as treliças e a forma e local de assentamento dos blocos de fundações. Observar a indicação de “grês” para o material indicada como abaixo da camada de cascalho. Fonte Arquivo da R.F.F.S.A. Estrada de Ferro Sampaio Correia.

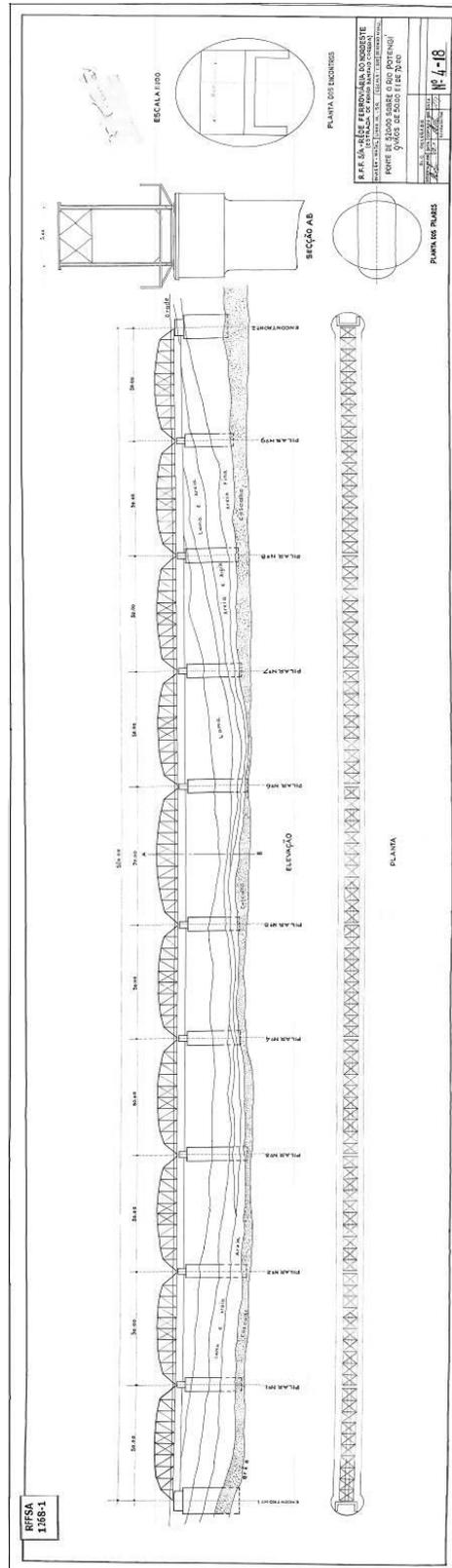
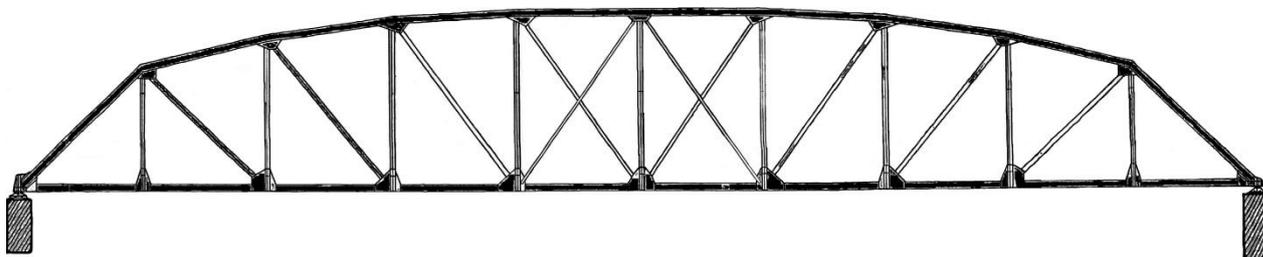


Figura 4.1.4 – A treliça tipo “Pratt” principal de 70,00 metros da Ponte do Potengi. Adaptação do autor a partir dos projetos da figura 4.2.



Referência: Adaptação a partir dos projetos da figura 4.1.2.

A treliça Pratt é uma das mais importantes ao longo da história das pontes metálicas treliçadas. Basicamente é formada por uma série de nós com os montantes e cujas diagonais ficam geralmente tracionadas, deixando, assim os montantes comprimidos quando em uso por um trem em movimento, por exemplo. Neste caso os dois vãos entre os montantes centrais têm duplas diagonais como uma forma de maior segurança.

É visível que pelo projeto das fundações, a batimetria não teve precisão, pois ele é desenhado em linhas de fundo de rio com poucas mudanças de profundidade. O que na verdade não ocorria, pois do eixo do rio para mais a norte na margem esquerda há um abrupto aprofundamento para ir se elevando suavemente até a margem.

Em seu original a ponte sobre o Rio Potengi era projetada pelo engenheiro chefe da Cleveland Bridge Engineering Company, G. C. Imbault em 8 treliças fixas de 60 metros cada e uma giratória também de 60 metros. O que nos dava um total de 540 metros de ponte. Certamente um bom e acertado projeto.

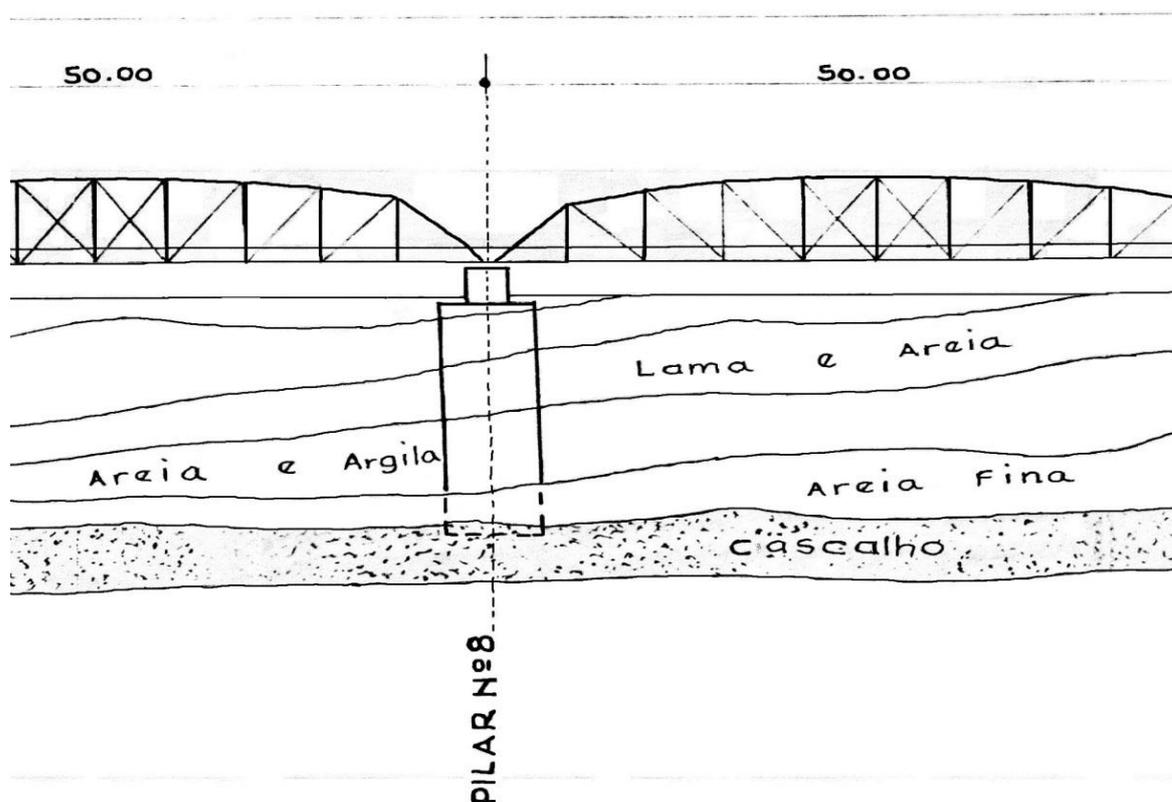
Esse projeto original era o padrão com um mínimo de qualidade e respeito pela navegabilidade de um rio pelo mundo afora. Mas veremos que após o orçamento final a ponte era de 10 vãos de treliças fixas com 50 metros cada. Mais a frente vamos ver que houve mudanças para que somente dois vãos tivessem 60 metros e finalmente ficou com somente um vão de 70 metros e os nove demais com 50 metros. Sendo o total de 520 metros. Ou seja, o confortável seriam os 540 metros

do G.C. Imbault. Vamos ver que houve acidentes nos pilares 4 e 5, o que pode ter ocasionado a mudança dos vãos próximo a esses pilares.

A natureza do rio domou os homens para o próximo dos 540 metros originais, mas deixaram de executar o vão giratório que dava liberdade aos barqueiros comerciantes do início do século XX no Rio Potengi em Natal, Brasil. Impediram a navegabilidade para a Macaíba do comércio e das feiras. Segundo Rodrigues (2003) existia em andamento o Projeto de Hegemonia das Capitais.

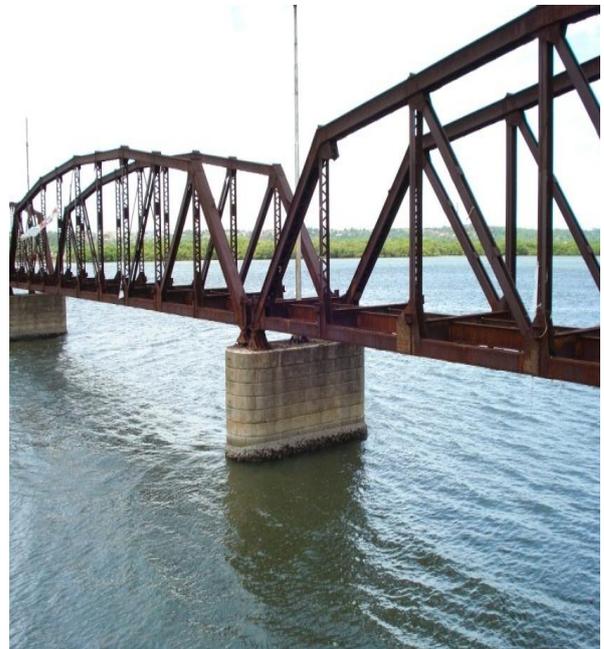
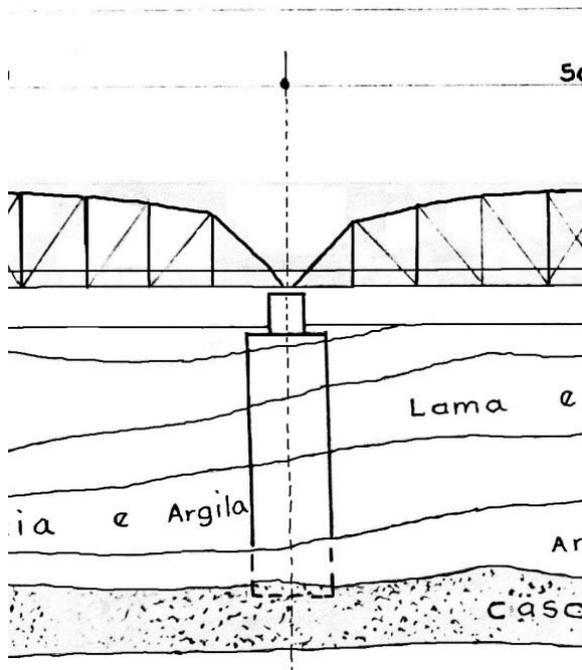
Segundo Souza (1975) p.15 apud Arrais (2006), “Pode-se afirmar que a capital política do Rio Grande do Nortes, naquele momento, estava em Macaíba, onde os acontecimentos que mais interessavam eram conhecidos aí antes de o serem em Natal”

Figura 4.1.5 – As indicações rudimentares das diversas camadas de “lama e areia”, “areia e argila”, “areia fina” e o “cascalho”, de apoio dos blocos.



O “grade” da ponte do Potengi ficou muito próximo a superfície do rio, da ordem de 3.0 metros em maré cheia e 5,30 em maré baixa. O que aniquilou qualquer passagem de barcaças e paquetes. Segundo Rodrigues (2003) foi um ciclo que se encerrou.

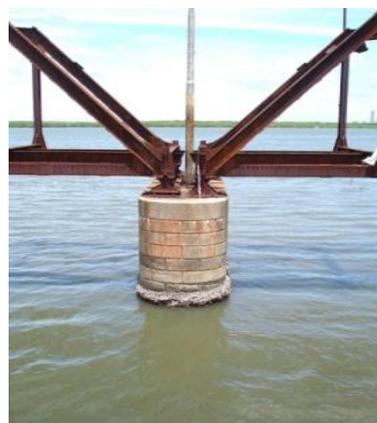
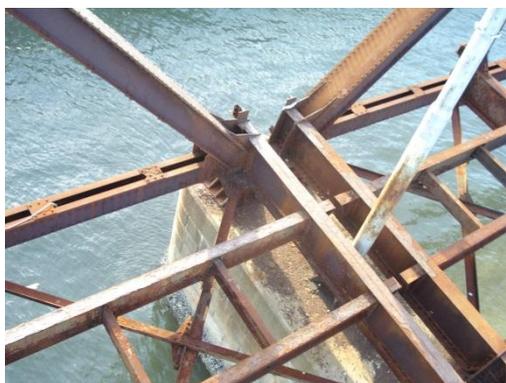
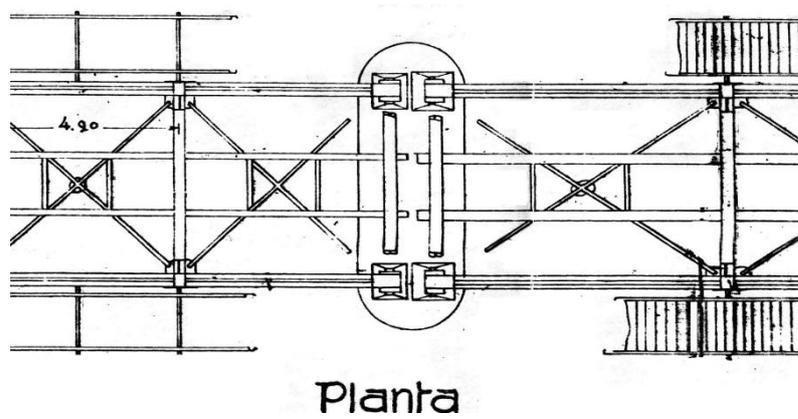
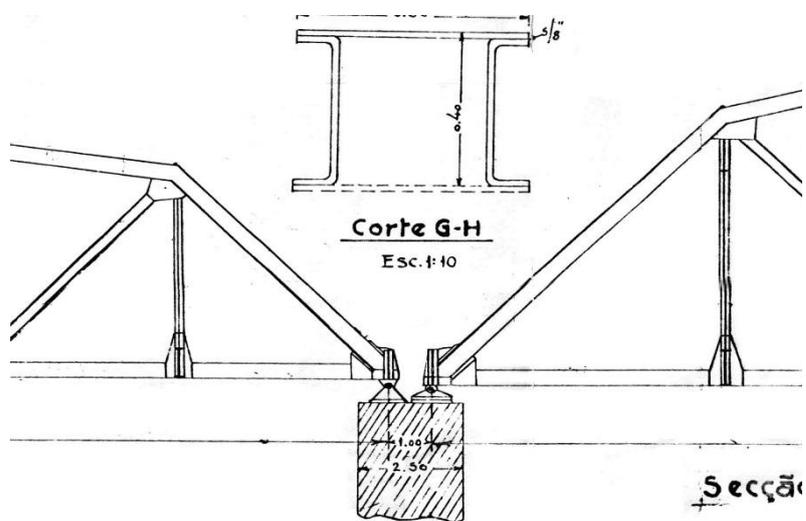
Figuras 4.1.6 e 4.1.7 – O projeto e o real hoje. Os blocos são de concreto armado conforme a geometria do projeto à esquerda. No setor superior no estreitamento de suas dimensões temos a medida vertical de 4.5 metros. Na parte inferior alargada as profundidades são variáveis em 10 a 14 metros até o encontro do “cascalho” conforme nos mostram as sondagens.



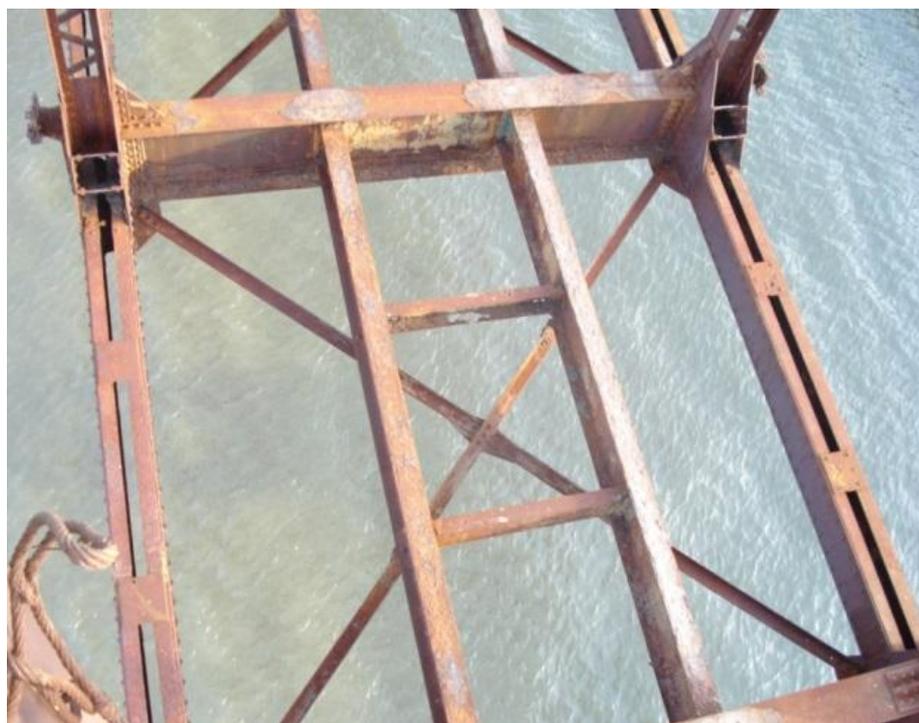
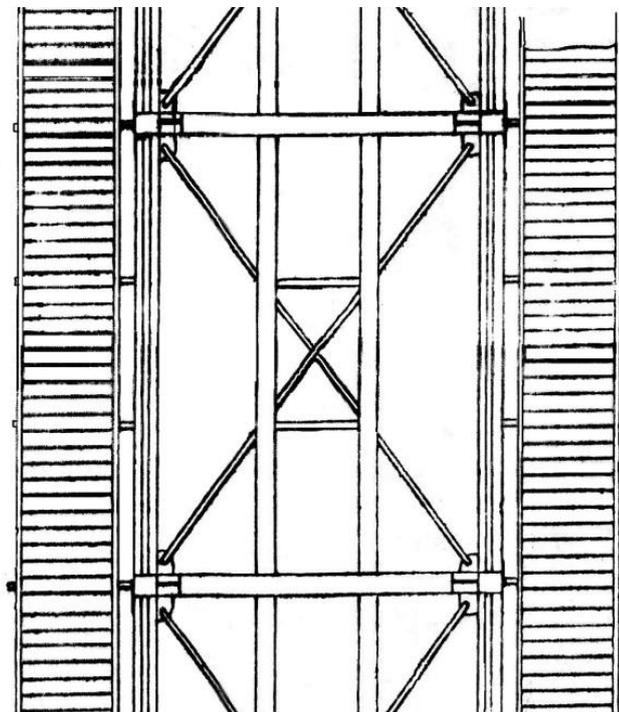
Por esses anos os cálculos se processavam em cima de 8 toneladas por eixo (8TB) de vagão. Este autor em suas pesquisas sempre procurou avaliar a capacidade de carga de um bloco da Ponte do Potengi. Para aqueles anos um valor bem apropriado seria entre 400 a 500 toneladas, sem se considerar o fator de segurança que em ponte pode variar de 2,5 a 3.

A seguir alguns detalhes recortados dos projetos nos mostram o detalhes daqueles anos onde reinava a mão do desenhista e o nanquim.

Figuras 4.1.8 e 4.1.9 – O concreto aparente moldado em formas metálicas que imitam alvenaria de pedra. A parte superior mede 2,40 x 7,30.



Figuras 4.1.10 e 4.1.11 – Projeto e estrutura metálica atual.



Figuras 4.1.12 e 4.1.13 – Projeto e foto mostrando os apoios fixos de um lado e livres do outro. Observa-se, também com nitidez, o concreto dos blocos dos pilares.

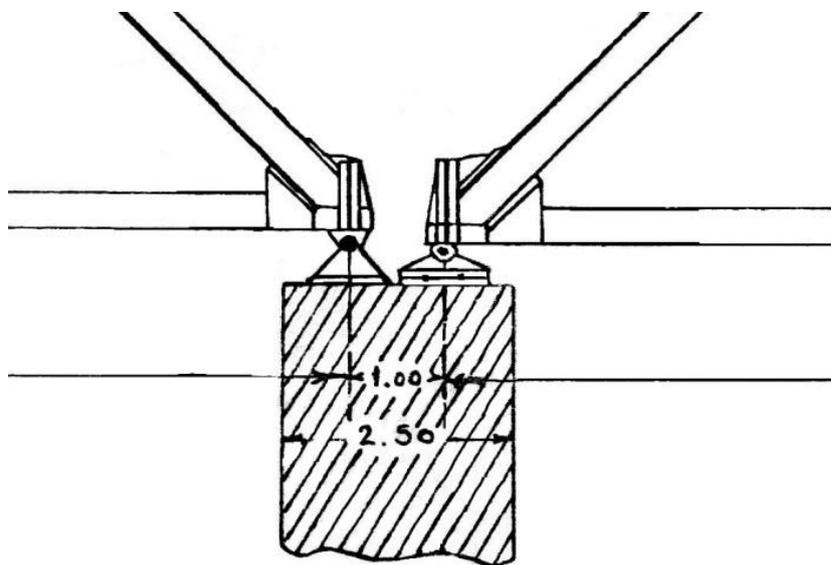
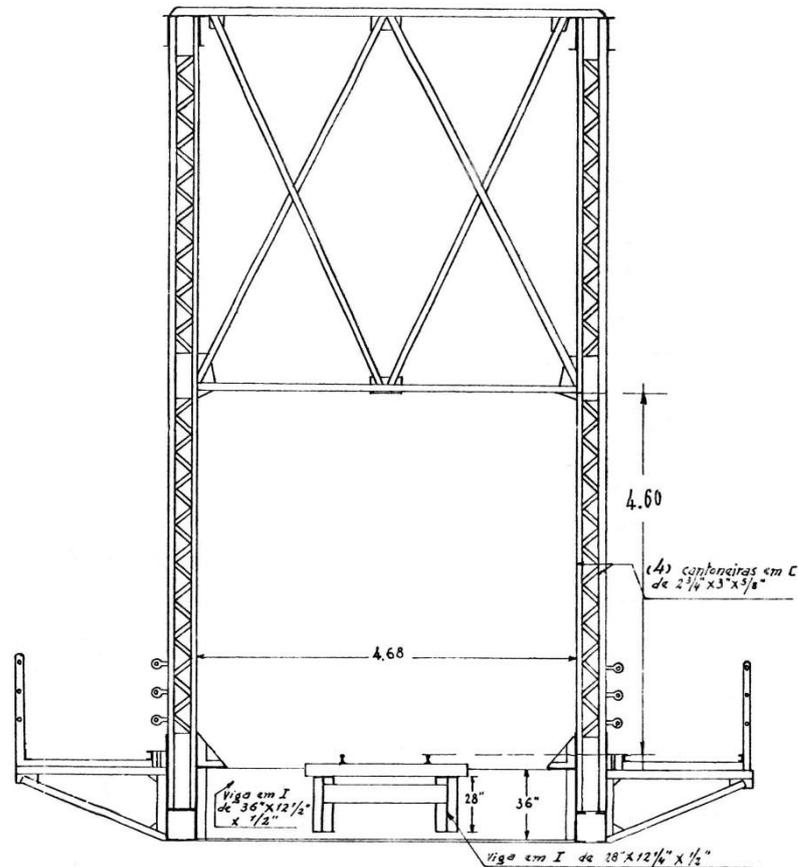


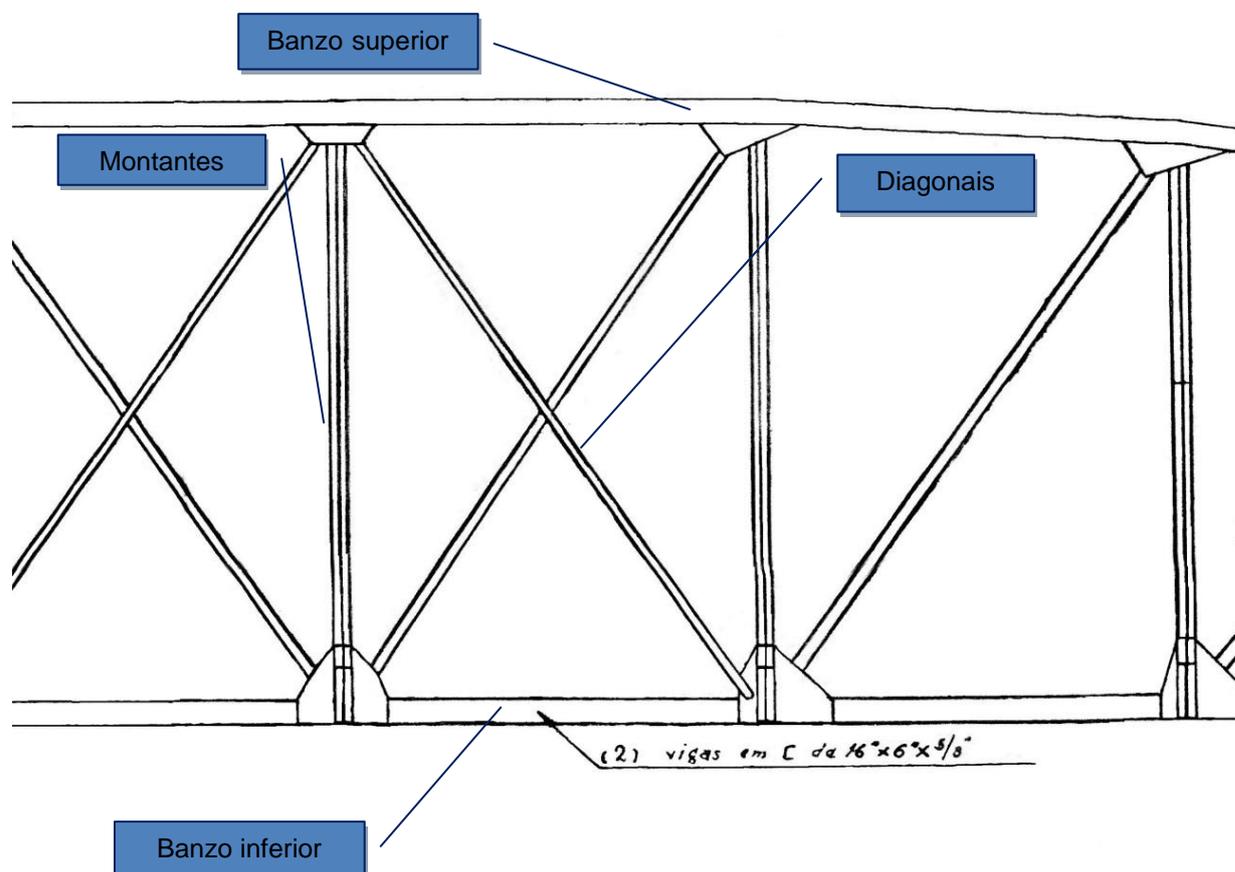
Figura 4.1.14 – Seção transversal da maior treliça, do vão de 70 metros. Os detalhes mostram o quanto uma treliça é complexa, cheia de detalhes que mereciam uma conservação para as gerações futuras.



Seção transversal CD
Esc. 1:50

O corte acima mostra o detalhe do travamento das treliças na parte superior. Essa trava em forma de x era conhecida entre os ferroviários da época por *jacaré* e era perigoso para quem gostava de andar em cima dos vagões, pois não havia altura suficiente para tal nesse trecho. Esta seção transversal nos mostra o detalhe exato da treliça de 70,00m.

Figura 4.1.15 – Detalhes dos projetos das treliças da Ponte de Igapó e suas partes principais identificadas.

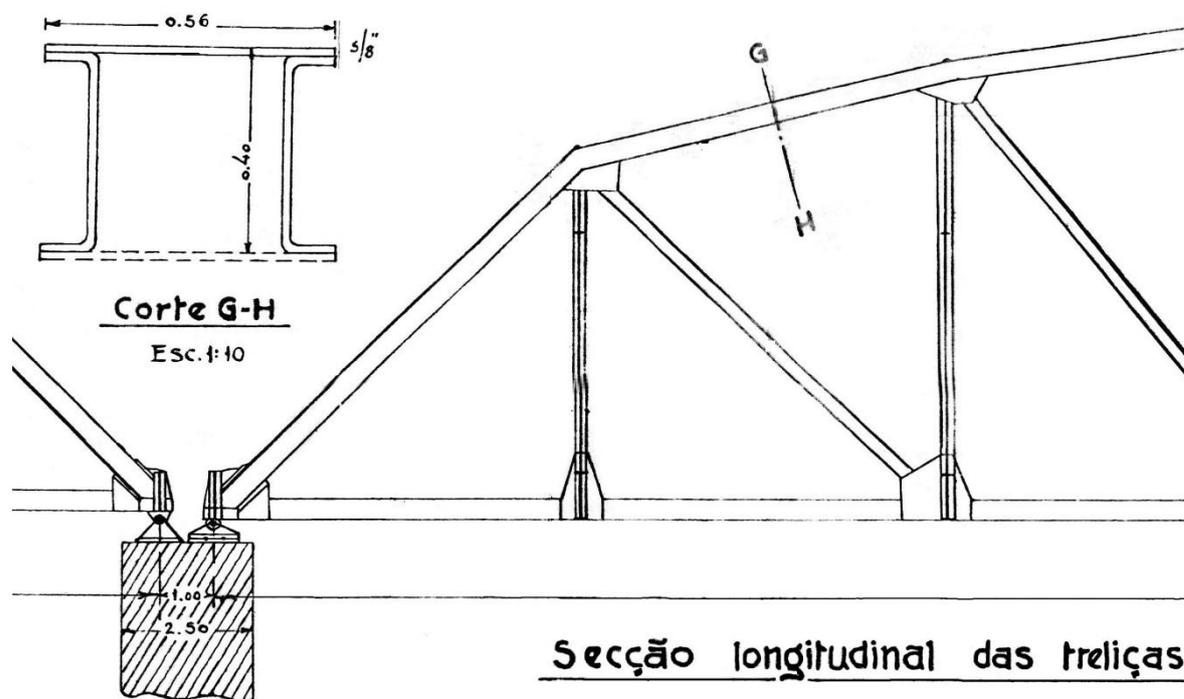


Duplas diagonais em forma de x eram encontradas à esquerda e à direita do montante central de cada treliça.

Figuras 4.1.16 e 4.1.17 – Rebites ordenados..



Figura 4.1.18 – Corte G-H mostrando a seção superior da treliça espacial constituída de uma chapa lisa superior, duas chapas em C nas laterais e treliçado no bordo inferior. Todas as uniões eram em rebites batidos.



Addis (2009) explicou que Karl Culmann (1821-1881) havia mostrado aos engenheiros como usar métodos gráficos para analisar treliças e momentos fletores em vigas. Johann Schwedller (1823-1894), um engenheiro de pontes, criou o “Método das Seções”, no qual uma treliça estaticamente determinada é analisada ao se imaginar que vários elementos são cortados para dividir a estrutura remanescente em seções mantidas em equilíbrio pelas forças nos elementos cortados. A elegância desse método, publicado pela primeira vez em 1851 e ainda hoje amplamente usado, está em seu apelo à imaginação do engenheiro em ligar o modo como a estrutura funciona com sua forma geométrica e com a magnitude das forças.

Figura 4.1.19 – Vista da treliça do segundo vão mais à margem direita. Nota-se os braços verticais também em treliça simples constituídas de duas chapas que formam um T de cada lado, com almas viradas para dentro sendo rebitadas nas banchos das treliças. Os arcos superiores em estrutura espacial conforme detalhado no corte G-H da figura 4.1.18 acima.



Figura 4.1.20 – As maiores vigas em I da estrutura são as de 36 polegadas (88,2 cm) indicadas na figura abaixo.

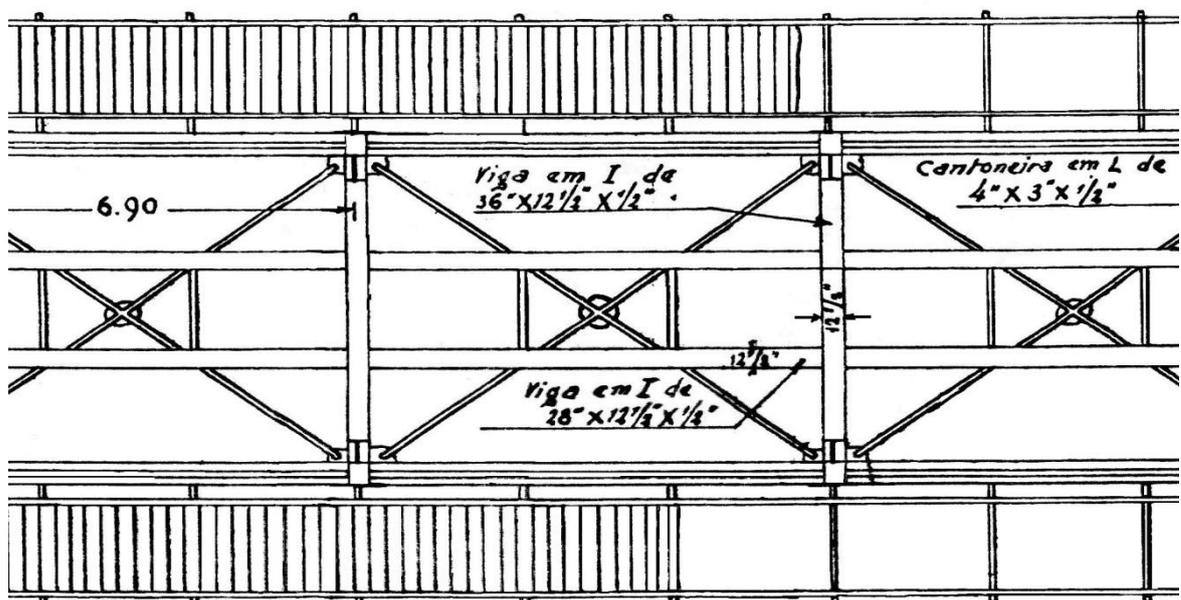


Figura 4.1.21 – Detalhes da estrutura do tabuleiro que recebia os perfis de apoios dos dormentes.



Mas para este tipo de aço conforme verificou Cardoso et al (2008), em 6 amostras, na “Ponte da Barra”, ferroviária, em Ouro Preto/MG, os limites de escoamento da primeira amostra foram $f_y = 272$ MPa e limite de resistência $f_u = 370$ MPa, já a amostra 2 apresentou $f_y = 315$ MPa e $f_u = 419$ MPa. Para a mostra 3, referente ao rebite, este teve o limite de resistência determinado de forma indireta, através do ensaio de dureza que revelaram resultado $f_u = 575$ MPa. O valor médio de resistência mecânica (limite de escoamento e limite de resistência) obtido com as amostras 1 e 2 é semelhante aos valores médios encontrados em outras pontes da mesma época, 1914. Segundo Cardoso et al (2008), apud Figueiredo (2004), a Ponte do Pinhão, construída em Portugal em 1906, apresentou $f_y = 284$ MPa e $f_u = 367$ MPa.

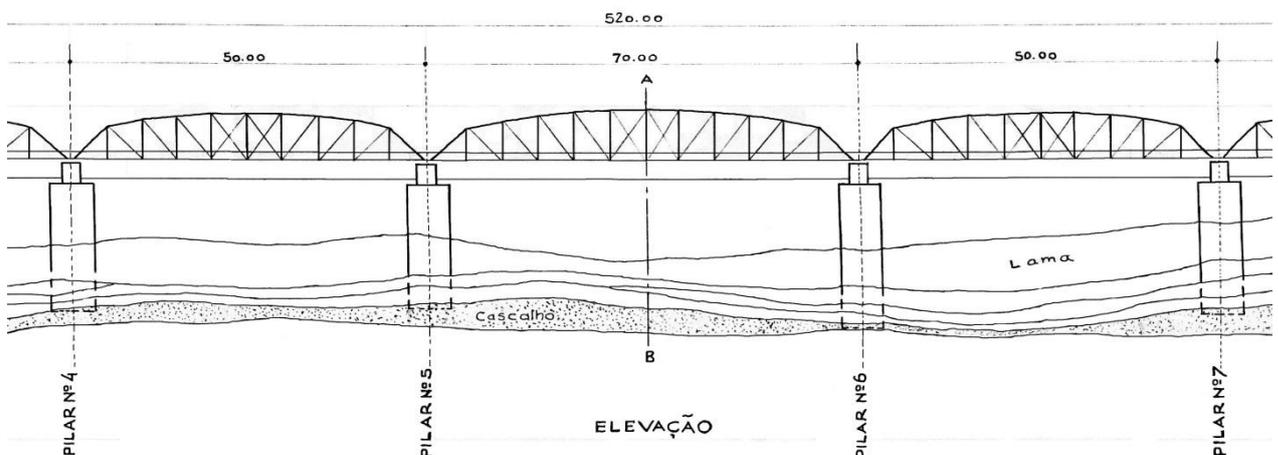
O estudo de Cardoso et al (2008) é revelador por que em suas conclusões ele afirma que o aço empregado na confecção da “Ponte da Barra” foi caracterizado como sendo de baixíssimo teor de carbono, com estrutura heterogênea, destacando-se grande quantidade de inclusões (retenção de escória). Caracterizando, assim, tratar-se de uma liga chamada de “Ferro Pudlado”, muito utilizada nas pontes antigas (centenárias).

Acrescenta-se que *to puddle* em inglês quer dizer agitar com barras o ferro em seu estado líquido, para reduzir o seu teor de carbono e ainda, ferro pudlado é o ferro doce. Embora este autor acredite que o aço da Ponte Metálica sobre o Potengi tenha sido fabricado pelo processo Bessemer, por aqueles anos podia-se encontrar aciarias muito rudimentares por todo o RU. Sobre a qualidade do aço pudlado é necessário se acrescentar que a Torre Eiffel foi toda construída com o mesmo. Referência: Cardoso et al (2008).

O projeto das Fundações

O projeto da figura abaixo mostra detalhes ampliados entre os pilares 4 e 7 .

4.1.22 – Projeto mostrando o assentamento das sapatas dos blocos sobre o cascalho. Observa-se o maior vão entre os pilares 5 e 6. Uma batimetria de 1988 do DER/RN mostra um grande aprofundamento entre os pilares citados acima.



A primeira indagação é a sondagem que foi realizada, pois conforme o projeto na escala de 1:100 existem linhas bem delimitadas de solos diversos. Este pesquisador encontrou alguns relatos de sondagens daquela época. Todos eles nos levam ao trado simples. Há de se citar que foi realizada uma sondagem após o fundo de um rio até profundidades 12 a 14 metros para se garantir a camada de assentamento de cada tubulão.

Outro detalhe de precisão é o local de maior profundidade indicado no projeto que é entre os pilares 5 e 6. Isso é fato real hoje, porém é trecho bem mais profundo conforme as batimetrias do DER/RN (1988) e Frazão (2003). O que devemos raciocinar é numa avaliação hidráulica do rio naquele local. Além de ser um estreitamento natural foram colocadas duas cabeceiras de ponte mais nove blocos, diminuindo em muito a seção, portanto aumentando a velocidade de escoamento. Com o aumento da velocidade é possível ter havido o revolvimento de partículas do fundo, entre os pilares 5 e 6, para mais a montante da ponte, ocasionando, assim o aprofundamento nesses últimos 97 anos.

Observando as sondagens de 1988 da GEPÊ Engenharia, e tomando-se como exemplo o Pilar indicado na planta da figura 4.1.22 acima como N^o 5, conciliamos o furo do boletim de 04.10.1988 que mais se aproxima desse bloco. Este furo é o furo SP 09, cujo relatório é mostrado na figura abaixo.

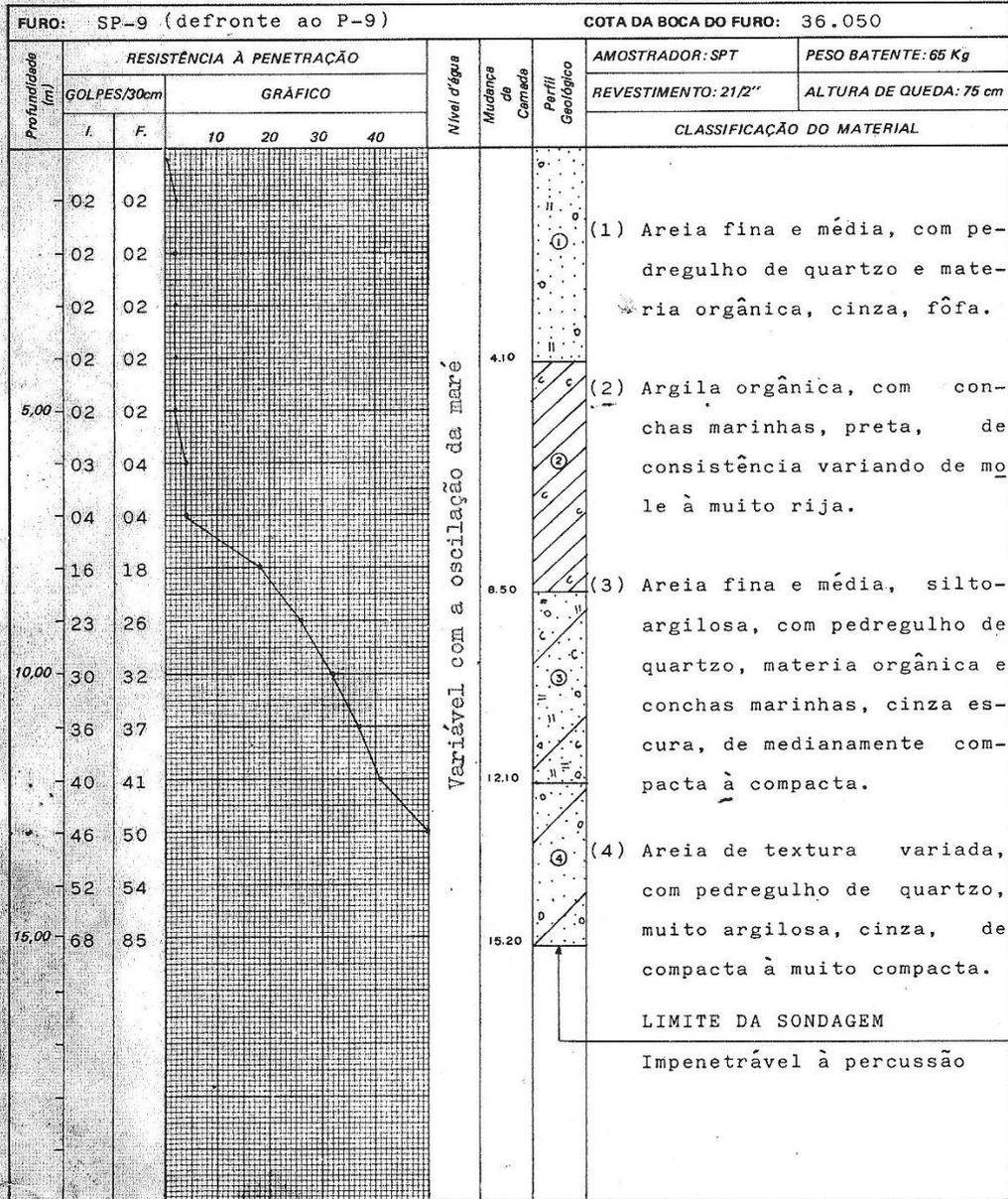
4.1.23 – Perfil de sondagem da GEPÊ Engenharia de 04.10.1988.



GEPÊ - ENGENHARIA LTDA.

RUA GUSTAVO CORDEIRO DE FARIAS, 380
 TELEFONE (084) 222.9852
 PETROPOLIS - NATAL/RN
 C.G.C.(MF) 08.363.764/0001-53
 INSC. EST. 20.065.152-8
 C.M.C. 013.596-6

PERFIL DE SONDAGEM



RELATÓRIO	CLIENTE: DER - Depart. de Estradas de Rodagem	DESENHO: Nº 7/16
	OBRA: Ponte sobre o Rio Potengi	ESCALA: 1:100
	LOCAL: BR-101, Trecho Natal-Touros	DATA: 04.10.88

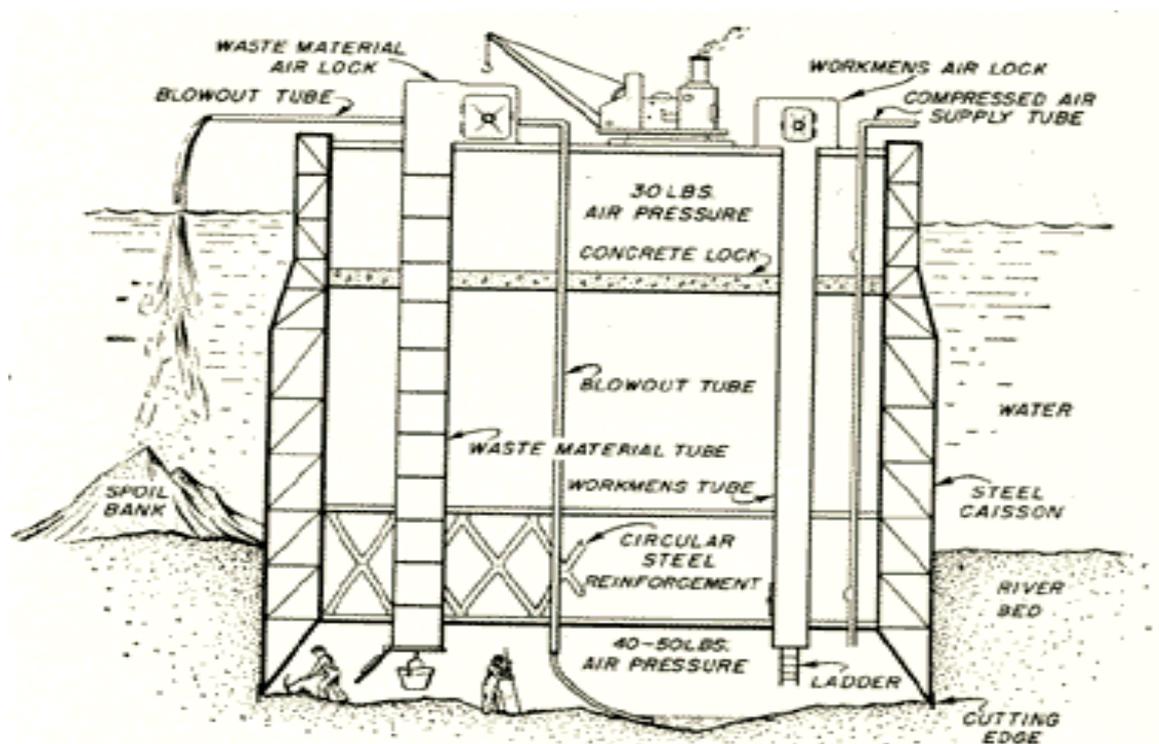
Pela observação do furo 09 do boletim citado vemos que do fundo do rio até a profundidade de 7,00 m o SPT é inicialmente 2 a finaliza em 4, seja nenhuma resposta, devendo ser só a “lama” do projeto. Em 8,00 m o SPT é 18. Em 10,00 m é 32. Em 13,00 m é 50 e impenetrável à percussão.

Na leitura do perfil geológico é perfeitamente visível que o “pedregulho” indicado a partir de 12,10 m vai corresponder ao cascalho dos velhos projetos. No início do pedregulho da sondagem até o impenetrável à percussão foi encontrada uma camada de aproximadamente 3 metros assim descrita: areia de textura variada com pedregulho de quartzo, muito argilosa, cinza, de compacta à muito com pacta.

Dessa análise pode-se concluir que a base da sapata desse bloco N^o 5 está assentada nessa cota de cascalho-pedregulho.

A figura 4.1.24 a seguir é uma ilustração de um tubulão pneumático.

Figura 4.1.24 – O caixão pneumático esquematizado: abaixo existem dois cilindros internos; um de descida de trabalhadores à direita e outro de subida de materiais à esquerda. Nota-se um tubo de aspiração do meio mais à esquerda e um tubo de suprimento de ar comprimido à direita. De cima para baixo vemos as bombas de ar e de aspiração. Logo abaixo uma placa de concreto dividindo do topo para o fundo em ¼ aproximadamente. Sendo o ar nessa área de 30 lbs/polegadas². Abaixo da placa de concreto, próximo a zona de trabalho no fundo vemos um aço circular para reforço no sentido de evitar o fechamento da campânula de aço. As paredes da campânula são reforçadas com treliças para a rigidez necessária. No local de trabalho vemos claramente a pressão de trabalho em 40- 50 lbs/polegadas². Ainda pode-se observar a ponta das paredes em forma de seta para cortar o material do fundo do rio. Fonte: http://www.blairhistory.com/landmarks/blair_bridge/morison_construction.htm. Acessado em 30.01.2013.



Segundo Gaudard (1891) em artigo publicado na Revista de Engenharia o processo de empregar o ar comprimido para facilitar a execução de trabalhos debaixo d'água é uma mera modificação do sino hidráulico; mas sua aplicação a um cilindro que se força a enterrar-se por meio de infra escavação foi feita pela primeira vez em 1839 em *Chalons*, França, para se trabalhar em um veio de carvão de pedra, que as infiltrações do rio Loire tinham tornado inacessível. Depois de ter começado o poço enterrando um revestimento cilíndrico de folha de ferro de 1,00 m de diâmetro, ocorreu ao engenheiro francês Jules Triger (1801 – 1867) cobrir o topo do cilindro, introduzir à força o ar, expelir por meio dele a água para fora, e admitir dentro dele os trabalhadores. Em cima era formado uma câmara de ar com portas duplas, servindo como comporta para a passagem de homens e materiais para dentro e

para fora do cilindro sem deixar escapar ar comprimido e em um tubo que corria de alto a baixo do cilindro conduzia para fora a água que minava no fundo. Em 1845 o engenheiro Triger enterrou do mesmo modo outro cilindro de 1,80 m de diâmetro e lembrou o emprego desse processo para fundações de pontes.

As primeiras fundações desta espécie em pontes foram executadas em 1851 e 1852 na ponte de Rochester sobre o rio Medway na Inglaterra a qual tem pegões (caixões) de alvenaria, suportado cada um por 14 cilindros de 2,0 m de diâmetros cheios de concreto. Essa técnica de caixões em alvenaria foi abandonada posteriormente para se usar somente o aço. Foi a partir desses anos que se iniciou a enterrar cilindros com o auxílio de ar comprimido. Também é relatado por Gaudard (1891) que Sir Brunel (1806 – 1859) o engenheiro mecânico e civil Inglês, usou ar comprimido para parar a água que entrava no Túnel sob o rio Tâmisa em Londres. Os diversos detalhes do processo de ar comprimido se encontram em relatórios de obras subaquáticas dessa época. Teoricamente, quando a borda inferior do cilindro alcança a profundidade H em pé (unidade) abaixo da superfície d água a pressão necessária para expelir a água das escavações é de:

$$\frac{3,14 \text{ atm}}{H}$$

Mas frequentemente o terreno que medeia entre o leito do rio e a escavação permite executar-se o trabalho com menor pressão como Sir Brunel praticou nas fundações da ponte em Saltash, na *Royal Albert Bridge*.

Gaudard (1891) explica que pressões de 2 ou até mesmo 3 atmosferas, não são nocivas aos homens sadios e sóbrios e convém melhor aos de temperamento tranquilos do que os coléricos; têm-se provado que essas pressões são nocivas aos coléricos e aos que sofrem de cardiopatias. É conveniente evitar trabalhar no tempo do calor, e cada trabalhador não deve trabalhar mais do que 4 horas por dia, nem mais de seis semanas consecutivamente. Os cilindros sujeitos a pressão são munidos de manômetros e alarmes para eventuais quedas de pressões. As espessuras usuais de cilindros para esses trabalhos variam entre 1/8 de polegadas (29 milímetros), 1/12 de polegadas (38 milímetros) e de 1 7/8 polegadas (48

milímetros). Os cilindros eram enterrados em média até 15 metros atravessando lama, areia, cascalho e argila até chegar ao calcário ou outro solo resistente.

Após atingir-se este solo adequado, com a pressão mantida é iniciado a concretagem lenta de todo o caixão, ou do cilindro, mais precisamente das paredes dos cilindros.

Tabela 4.1.25 - A composição de preços tirada de uma tabela geral organizada pelo engenheiro Del-Vecchio e publicada pela Revista do Club de engenharia em 1891. Ela nos dá uma ideia aproximada dos custos de movimentação em torno dos cilindros de execução dos tubulões pneumáticos. Pela composição acima é possível avaliar o quanto eram difíceis àqueles anos em termos trabalhistas; existia a patrão da lancha, hoje chamado de mestre amador, o maquinista, o foguista para manter a caldeira acesa além de um marinheiro e oito serventes para descarga de cada viagem da lancha. Como materiais o carvão de pedra ou a lenha era o combustível básico.

COMPOSIÇÃO DO PREÇO

DETALHES	QUAN- TIDADES	PREÇOS DAS UNI- DADES	PREÇOS	
			PARCIAES	TOTAES
Salario de 1 feitor.....	0,020	2\$000	\$056	
Salarios de serventes de des- carga.....	0,160	2\$000	\$320	
Salario do patrão da lancha ...	0,020	4\$000	\$080	
Salario do machinista	0,020	3\$000	\$060	
Salario do foguista.....	0,020	2\$000	\$040	
Salario do marinheiro.....	0,020	2\$000	\$040	
Carvão de pedra.....	8 ^k	\$022	\$176	
Aluguel da lancha a vapor....	0,020	6\$000	\$120	
Somma.....				\$892
10 % para eventuaes....				\$089
Custo total Rs.....				\$981

A Ponte sobre o Potengi é constituída, conforme mostra os projetos acima, de 9 blocos de fundações executados pelo processo de tubulão a ar comprimido. Os ingleses o chamavam de *pneumatics wells*. E dois encontros executados em alvenaria de pedra argamassada, mas também apoiadas em tubulões.

Os 9 blocos tem dimensões de 7,30 x 2,40 metros do topo até 4,50 metros, quando se transforma em um cilindro de 6,00 metros de diâmetro até seu bordo inferior, com variações de profundidade entre 10 e 14 metros.

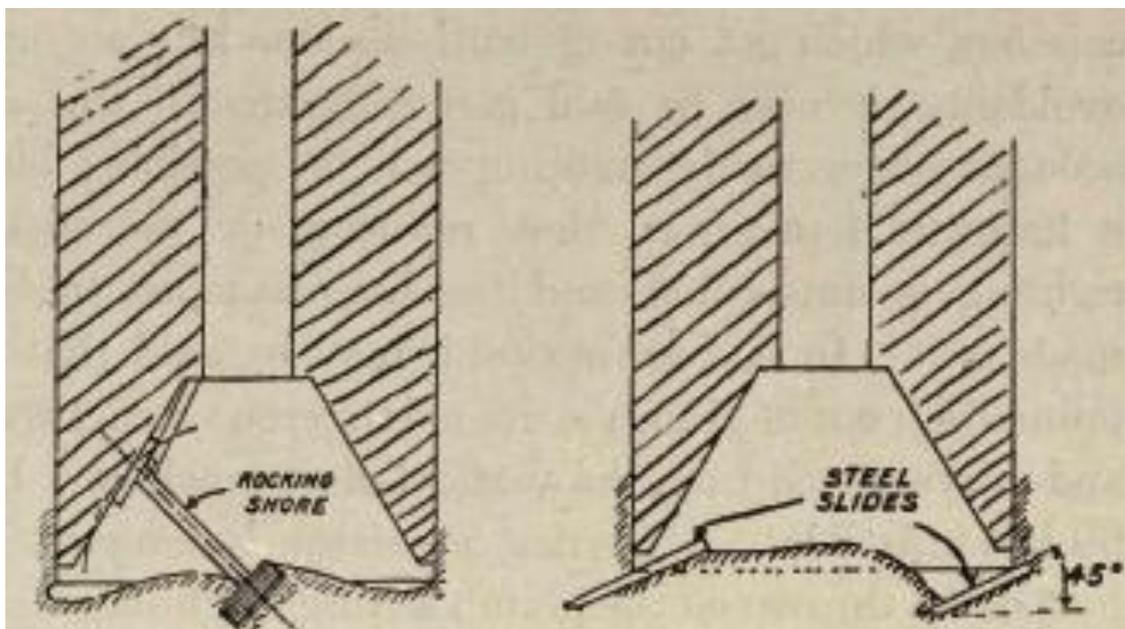
O volume total de concreto aproximado para os 9 blocos é de 5.000 m³ de concreto em se considerando maciços. Considerações devem ser feitas de que em alguns livros velhos de tecnologia de fundações da época constam que esses blocos possuíam cilindros vazados que eram preenchidos com areia para dar estabilidade ao mesmo, segundo Venkatramaiah (2006). Essa hipótese é bastante razoável frente ao custo.

Burnside (1916) em seu *Bridge Foundations* diz, na hora de colocar o caixão para baixo, que a maneira de escavação na câmara de trabalho depende da natureza do material. A condição ideal é aquela em que o peso é suficiente para fazer com que o caixão afunde, se movendo para baixo gradualmente, sem qualquer redução da pressão do ar. Isso só é possível em solos moles, em que a aresta de corte nunca seria descoberta. Num caso deste tipo, solos moles, e havia muito no fundo do Potengi. A parte inferior deve ser tomada em camadas finas e a escavação ser sempre mais profunda na parte central. Fazendo com que o caixão empurre o solo a medida em que desce empurra o solo para o interior. Problemas podem acontecer com sopros ou golpes no interior quando a pressão fica baixa.

O processo construtivo é conhecido por afundamento ou mergulho de caixões cilindros metálicos que se apoiam no fundo do rio e vão mergulhando solo abaixo à medida em que materiais solos são retirados por operários ou por bombas sugadoras de lamas e solos pouco coesivos.

As figuras a seguir mostram os procedimentos para alinhamento dos tubulões em caso de ficarem fora de prumo.

Figuras 4.1.26 e 4.1.27 – Métodos de ajustamento de caixões segundo Burnside (1916). São usados para serem colocados em suas posições exatas.

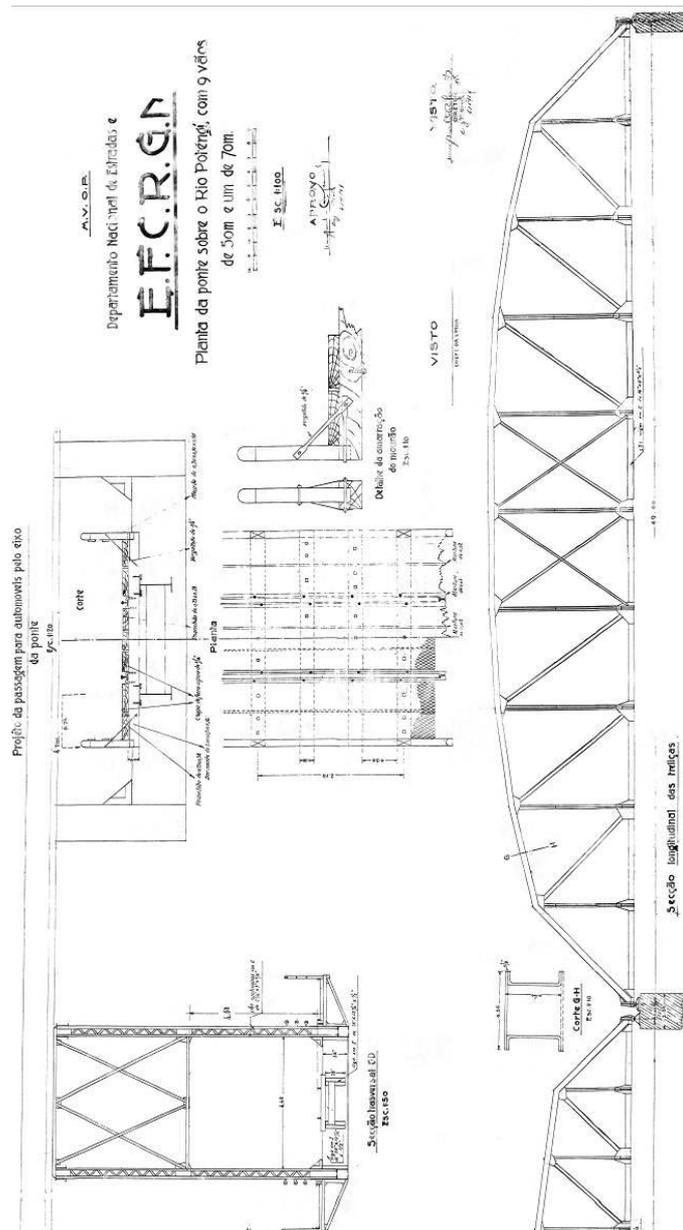


Segundo Burnside (1916), quando a interrupção do afundamento do caixão é compreendido como um perigo ou quando a parada será séria, a compressão interna do caixão deve ser o dobro para que em caso de uma quebra de um conjunto de bomba a outra possa segurar a pressão convenientemente. Se o conjunto é movido a vapor a fraqueza do boiler é o suprimento de alimentação. Quando injetores ou bombas são usados deve haver dois para cada boiler em prontidão. O tamanho do conjunto de ar vai depender dos limites do compressor, da velocidade do ar ser maior ou menor em relação ao diâmetro da bomba. Se a distancia do compressor para o caixão é grande o diâmetro deve ser alguns milímetros maior. O ar quando produzido é esquentado por compressão e fricção na bomba e deve ser resfriado antes de ser introduzido no caixão. O tubo flexível é em cobre espiralado e deve ser cuidadosamente manuseado. A quebra desse tubo e a falha de alimentação do boiler, talvez, sejam as duas preferidas causas de acidentes de paradas.

Projeto das Treliças Tipo Pratt. O Método de Montagem nos pilares

O projeto da figura 4.1.28 abaixo foi desenvolvido quando da adaptação da ponte que era exclusivamente ferroviária para rodoferroviária.

Figura 4.1.28 – A treliça “Pratt” e seus detalhes já era muito comum na época do Potengi em 1915.



A observação que se faz é a grande quantidade de detalhes e de peças a serem montadas. Há de se imaginar o grau de detalhamento desses projetos quando vinha da sede da Cleveland. Existem raras peças aparafusadas. Todas as peças eram unidas por rebites. Como os furos nas peças tinham de coincidir

perfeitamente, há de se imaginar que muitos desses tinham de ser executados no local da obra.

As treliças eram montadas ainda inacabadas nos pilares usando-se o desnível da maré. Conforme a Capitania dos Portos, a maré alta e baixa, naquele braço de rio, provoca um desnível de 2,30 metros nas maiores do ano.

Com essa ajuda da natureza a treliça depois de aprontada o suficiente era levada em marés mais altas, montada em uma chata, conhecida como batelão, com escoras, de forma a possibilitar seu engate nos pilares. Com o auxílio das velhas cunhas de madeiras os ajustes iam sendo realizados.

As treliças mais trabalhosas de montagem foram exatamente as primeiras que partiam da margem esquerda, de Igapó, pois ali era só lama e quase impraticável a navegação das chatas.

4.1.1- Cronologia da Construção

O primeiro orçamento aprovado foi entregue ao Ministro de Viação e Obras Francisco Sá em 29 de janeiro de 1910, no Rio de Janeiro, pelo empreiteiro engenheiro civil e de minas João Julio de Proença.

A construção iniciou-se em fevereiro de 1912 com a chegada em Natal de dois engenheiros da Cleveland Bridge, o engenheiro chefe Stephen e o engenheiro auxiliar Beit. Assim se limitava o Jornal República a se pronunciar.

Em agosto do mesmo ano de 1912 é comemorada a primeira pá de concreto colocada na obra pelo proprietário da Companhia de Viação e Construções SA, pelo engenheiro civil João J. Proença.

A obra desenvolveu-se regularmente até 1914 com a fotografia DA FIGURA 4.1.29 registrando a data do término e resumo técnico registrados em livreto propaganda da Cleveland Bridge sem data de edição abaixo.

Figura 4.1.29 - Foto constante no livro propaganda da empresa inglesa subcontratada pela Companhia de Viação e Construções.



4.1.2- Equipe Técnica

Na equipe técnica constavam:

1. **João Julio de Proença** – proprietário e engenheiro civil responsável técnico da construtora CVC;
2. **João Ferreira de Sá e Benevides** – Engenheiro civil fiscal por parte do governo brasileiro. Acompanhou a obra do início ao fim;

3. **F. Colier** - Engenheiro responsável pela subcontratada Cleveland Bridge. É citado no dia da inauguração.

4.1.3- Orçamento

A seguir o orçamento copiado do Arquivo Nacional, caixa 420 , Transcrição, “ipsis literes”, obedecendo-se a ortografia da época, do orçamento original apresentado pela COMPANHIA DE VIAÇÃO E CONSTRUÇÕES SA e assinado pelo seu presidente João Julio de Proença em 29 de Março 1910).

ORÇAMENTO, MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO POTENGY

ESTRADA DE FERRO CENTRAL DO RIO GRANDE DO NORTE

ORÇAMENTO para a construção de uma ponte metálica sobre o estuário do Potengy. Aprovado pelo decreto n.8.372, de 11 de Novembro de 1910.

<i>I</i>			
<i>MATERIAL METALLICO</i>			
1- 2.413 toneladas	a	£ 18-0-0	694:944\$000
<i>II</i>			
<i>INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</i>			
<i>E DE AR COMPRIMIDO</i>			
2- Dois jogos de motores com dynamos conjugados, com caldeira, burrinhos, chaminés, etc. e cada jogo de 120 K.w.	a	36:000\$000	72:000\$000
3- Dois compressores de 18 m ³ , por minuto	a	16:000\$000	32:000\$000
4- Um dito de alta pressão de 6 m ³ por min	a		9:000\$000
5- Ferramentas de ar comprimido, mangueiras, fios elétricos, lâmpadas, etc.			8:000\$000
6- Duas camaras de ar para comunicação Com as dos caixões, cylindros completos Com válvulas e acessórios.	a	8:000\$000	16:000\$000
<i>III</i>			
<i>MATERIAL FLUCTUANTE</i>			
7- Quatro fluctuantes de 100 tons.de			

<i>fluctuação.</i>	<i>a</i>	16:000\$000	64:000\$000
8- <i>Um rebocador de 120 cavallos</i>			42:000\$000
9- <i>Um guindaste gigante</i>			18:000\$000
10- <i>Um bate estacas a vapor, fluctuante</i>			20:000\$000
11- <i>Amarras, fateixas, cabos, línguas de ferro, etc. etc.</i>			12:000\$000

IV

MÃO DE OBRA E TRABALHO ACESSORIOS

12- <i>Madeira para plataforma, vigas, estrados, Etc. assentada (R.G.N.)</i>	500,000	<i>a</i>	250\$000	125:000\$000
13- <i>Cravação, montagem pintura do Material da ponte, inclusive Cylindro, caixão e passadiço (R.G.N.)</i>	2.546 T	<i>a</i>	200\$000	509:200\$000
14- <i>Escavação em ar comprimido (P.R.J.)</i>	8,906 m ³	<i>a</i>	25\$000	222:650\$000
15- <i>Concreto assentado com ar Comprimido (P.R.J.)</i>	940 m ³	<i>a</i>	150\$000	141:000\$000
16- <i>Idem ao ar livre (R.G.N.)</i>	6,310 m ³	<i>a</i>	72\$000	454:320\$000
17- <i>Alvenaria de Lajões, rejunta-da com argamassa de cimento</i>	75 m ³	<i>a</i>	55\$000	4:125\$000
18- <i>Cantaria</i>	7,5		120\$000	900\$000
19- <i>Capeamento</i>	45 ml	<i>a</i>	40\$000	1:800\$000
20- <i>Ferragens e parafusos tons.</i>	36	<i>a</i>	\$500 ^k	18:000\$000
21- <i>Linha de serviço</i>	1,000 ml	<i>a</i>	20\$000	20:000\$000
22- <i>Descarga e estiva do material</i>	T	<i>a</i>	10\$000\$.....

1.496:995\$000

Soma dos 3 primeiros numeros

97 :944\$000

Somma total - 2.474 :939\$000

(Valor constante do Decreto n.8.372)

Acrescimo de orçamento para a ponte com passadiço.

Acrescimo de peso para o material

Metallico..... 133 t. a £ 18

38:304\$000

Idem de volume para a quantidade

De madeira 114 m³ a 250\$

28:750\$000

Gradil de ferro para os passadiços.....

8:000\$000

75:054\$000

Eventuaes ... 10%.....

7:505\$400

Total Rs

82:559\$400

Custo da ponte com os passadiços.....

2.557:498\$400

4.1.4 - Equipamentos

Abaixo a relação de equipamentos e máquinas utilizadas durante a obra.

Relação do material aplicado na construção e montagem da ponte sobre o rio Potengy

- 30 Suportes pa. Lâmpada incand.
- 2 Fita isolante rolos
- 8 Refletores pa. Luz electrica
- 2 Rheostate
- 2 Caixa pa. Fusíveis
- 5 Supporte pa. Fusíveis
- 13 Chave pa. corrente ele.
- 100 Kg Fio izolado grosso
- 6 Forjas de campanha
- 1 Cabo de aço de $\frac{3}{4}$, uzado
- 78 Kg Arame de cobre div. diâmetros
- 2 Bigornas
- 1 derrick para 30 quintaes
- 1 idem com vigamento
- 1 Dynamo e bomba completa e válvula de retenção
- 12 Moitões de aço pa. 20 ton.
- 1 Derrick de madeira de 5 ton.
- 1 Idem de aço, a vapor, completo, 5 ton.
- 1 Caçamba dagua, quadrada, 1m cub.
- 2 Idem redonda $\frac{1}{4}$ m. cub.
- 3 Dragas de $\frac{1}{2}$ jarda
- 2 Idem de $\frac{1}{4}$
- 1 Idem pequena
- 1 Idem Priestmans
- 2 caçambas pa. concreto
- 7 Guinchos de 20 a 40 quintaes
- 2 Comportas pa. cylindro submarino
- 1 Apparelho sw escafandrista completo
- 1 Mangueiras de panno, 50, usada
- 2 Idem de borracha c/ spiral de aço, usadas
- 1 Bate-estaca com motor a vapor
- 2 Caçambas de fundo movel pa. cylindro subm.
- 2 Idem grandes fundo fixo
- 9 Ferros pa. misturar concreto
- 1 Reservatorio dagua, de ferro, grande
- 2 Batelões de ferro, 100 tons
- 1 Idem de 60 ton.
- 1 Batelão dagua
- 2 Balieiras
- 2 Botes comuns
- 1 Batelão de ferro com derrick 3 ton.
- 80m Cabo de arame 7/8
- 60m Idem idem

- 70m *Idem 1*”
- 50m *Idem 3/4*
- 20m *idem idem*
- 100m *Idem 7/8,*
- 8 *Remos*
- 90 *Ponteiros pa. estacas*
- 1 *Guincho pa. guindaste de ponte*
- 6 *Manilhas pa. corrente*
- 1 *Apparelho telefônico para mergulhador*
- 107 *Lampadas eletricas*
- 1 *Guincho a vapor*
- 21 *Cavernas para botes*
- 1 *Caldeira para 100 cavallos*
- 1 *Motor e dynamo montado no eixo do motor*
- 2 *compressores de ar Ingersoll Rand*
- 1 *Compressor de alta pressão*
- Camaras de ar para comunicação com os cylindros com válvulas e acessórios*
- 1 *Rebocador denominado “Enid”*
- *Trilhos e vagões de serviço*
- Madeiras em toros,*
- Pranchas e pranchões*
- Folhas de zinco*
- 2 *Cabos isolados flexível*
- 1 *Idem*
- 1000m *Cabos de aço*
- 11m *Corrente 7/8*
- 12m *Idem*
- 5 *Idem*
- 3 *Idem*
- 2 *Idem*
- 4 *Idem 1 1/8*
- 2 *Idem*
- 2 *Idem*
- E segundo correspondência em 11.4.1918, o engenheiro fiscal J. F. de Sá e Benevides afirma que foram também descarregadas diversos aparelhos e acessórios de propriedade da “Cleveland Bridge Works”, subempreiteira da ponte, e que a mesma trouxe para Natal uma instalação completa de montagem.*

4.1.5 - Término da Construção

Tecnicamente a obra foi concluída em 1914 conforme atesta o livreto propaganda da Cleveland Bridge, mas só foi inaugurada no dia 20 de abril de 1916.

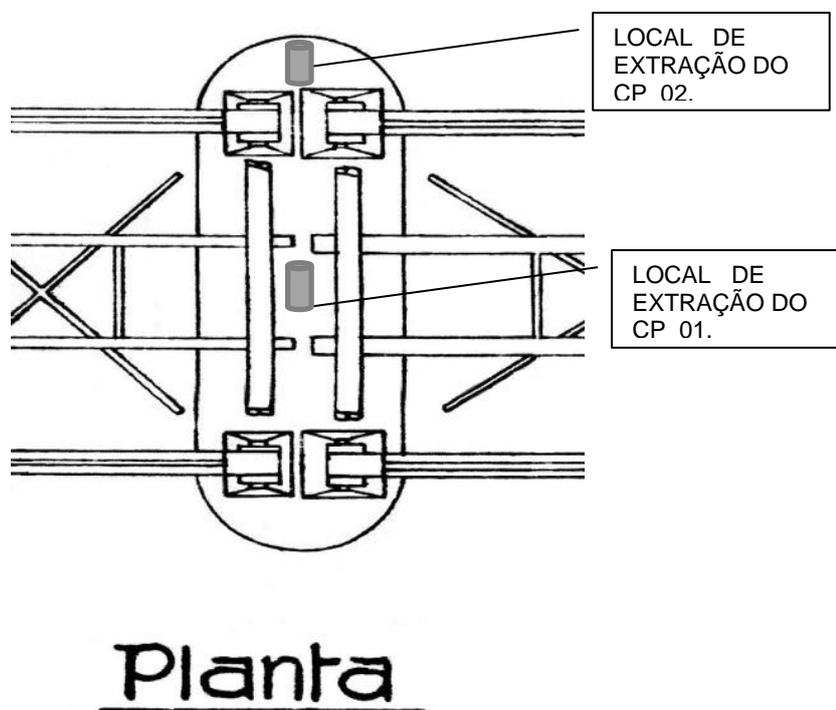
Este tempo entre a conclusão e inauguração efetiva se deu por causa impossibilidade de se passar trens por sobre a ponte. A chamada “linha de ligação” que ligaria o pátio no bairro da Ribeira até a cabeceira da ponte na margem direita estava em construção e diversos problemas técnicos e de desapropriação de terrenos estavam em andamento.

4.2- Resultados da Pesquisa Experimental

Os resultados dos ensaios tecnológicos executados em 2010 e 2012 demonstraram a boa qualidade do concreto e a característica pozolânica do cimento empregado na construção.

4.2.1-Testemunhos do Pilar P 9

Figura 4.2.1 – Local das extrações localizadas no projeto originário da RFFSA.



Seguindo a NBR 7680 (1983), foram extraídos dois corpos de prova de 10 x 30 cm e depois serrados para 10 x 20 cm. Tomou-se o cuidado de preencher-se os furos com graute expansivo de 50 MPa.

4.2.1.1- Porosidade

Figura 4.2.1.1 - Face polida de uma sobra do corpo de prova CP 01 extraído do pilar 9 quando foi serrado na dimensão 20 cm. Nota-se a mistura de brita granítica e de seixo rolado.



Os ensaios de porosidade – índices de vazios - apresentaram uma porcentagem de 6, 82 % para o CP 01, que apresentou maior resistência à compressão. E 10,23 % para o CP 02 que apresentou menor resistência à compressão.

São índices baixos em se considerando o nível de controle tecnológico em 1912. Hoje esses índices estariam, segundo a NBR 9778 (1987), classificados como: Valor de porosidade abaixo de 10%, indicando um concreto de boa qualidade e bem compactado.

4.2.1.2- Absorção

Os ensaios de Absorção, conforme a NBR 9778 (1987), apresentaram percentuais de 3,16 e 5,47% respectivamente para os corpos de prova 01 e 02, mostrando uma proporcionalidade entre a porosidade e a absorção de cada testemunho. Demonstra ser uma concreto de baixa absorção.

4.2.1.3- Resistência à Compressão

Nos ensaios á compressão realizados no Laboratório da UFRN, foram obtidos os resultados de 25,85 e 35,66 MPa respectivamente. Resistências de bom padrão para os concretos de hoje.

4.2.1.4- Microscopia Eletrônica de Varredura

Realizado na UFRN Laboratório do Núcleo de Pesquisa de Petróleo e Gás Natural em 5 de maio de 2010.

Figura 4.2.1.4. - MEV 500 vezes.

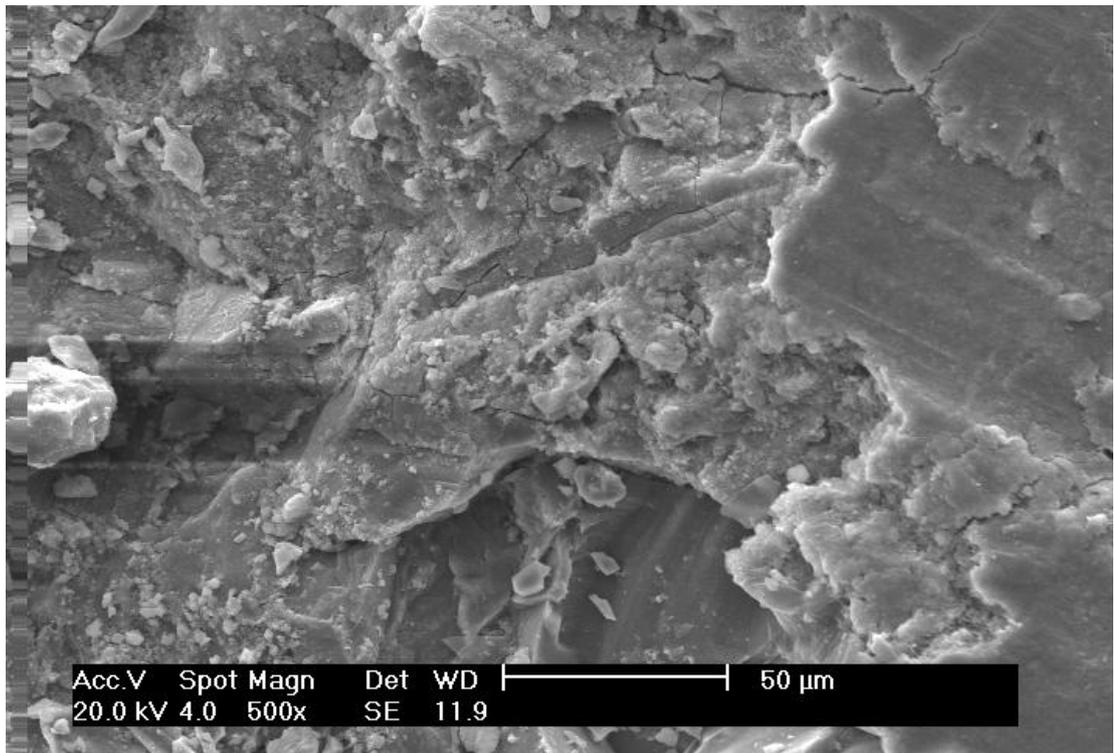
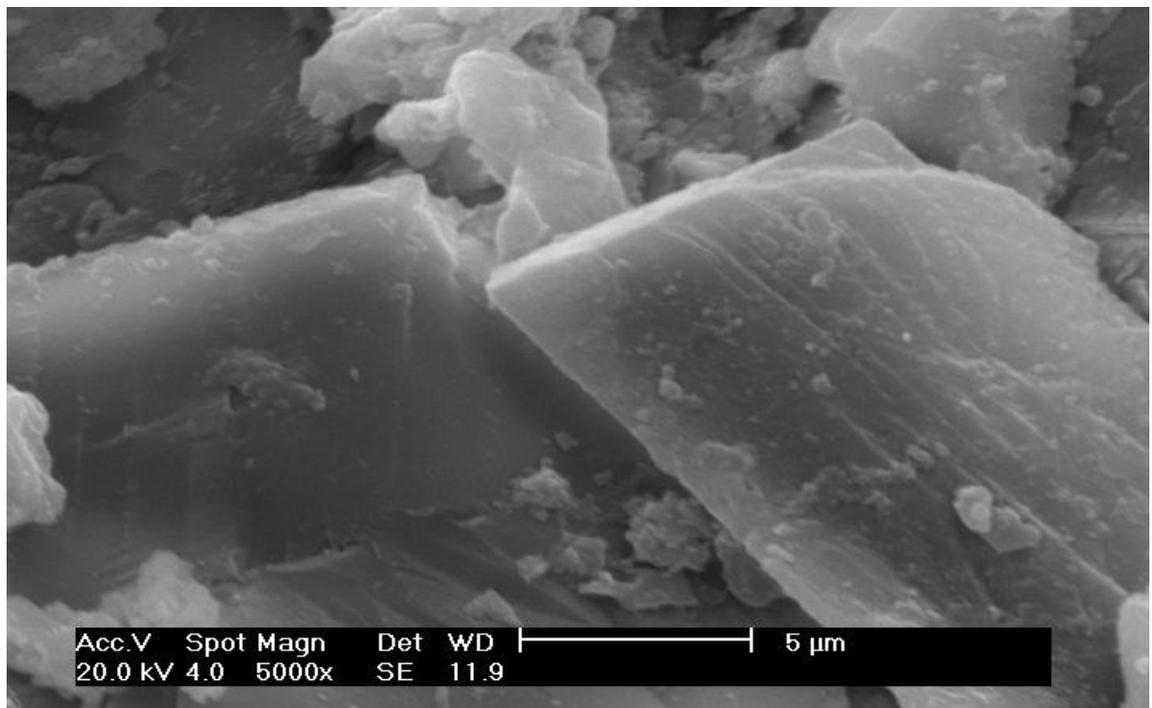


Figura 4.2.1.5. - MEV 5.000 vezes.



As amostras de concreto foram analisadas em 50, 200, 500, 5.000 e 20.000 vezes. Nas imagens de 500x da Figura 4.2.1.4 e 5.000x da Figura 4.2.1.5 nota-se a

forte aderência na interface cimento-areia-brita. Comparada com os concretos convencionais nota-se pequena quantidade de vazios, grande cristalização, mostrando uma superfície compacta denotando a forma de um gel endurecido. Em sua totalidade corroborando os valores de porosidade e boa compacidade do concreto estudado.

4.2.2- Análise mineralógica e química do cimento original utilizado nas estruturas de concreto armado dos pilares

Segundo Negreiros et al (2012) este é um cimento muito antigo fabricado no Reino Unido entre os anos de 1912 e 1915, e utilizado nas fundações de concreto que aparentemente apresentam ótimo aspecto. Este cimento foi trazido em barricas diretamente da Inglaterra para a execução dos 11 blocos de fundações diretas da ponte sobre o Rio Potengi em Natal/RN hidratado pelo tempo, o mesmo permanece conservado no Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Norte. Uma amostra foi extraída com o auxílio de uma broca.

Em 1900 existiam 24 companhias fabricantes de cimento no Reino Unido que formavam a APCM – Associated Portland Cement Manufacturers Ltd, sendo uma delas localizadas no estuário do Tâmesa e outra no estuário do Medway, ambas bem próximas a Londres. As mesmas permitiam grandes facilidades de escoamento, mas a grande malha ferroviária do R.U. garantia escoamento rápido e barato também. Essas 24 companhias respondiam por 1,25 milhões de toneladas das 1,8 toneladas fabricadas por ano na Grã-Bretanha. Era o início dos fornos rotatórios e grandes investimentos foram realizados para se manter o domínio mundial da venda do cimento.

Segundo Negreiros et al (2012), há relatos, apud Battagin (2010), de que a fábrica Usina Rodovalho funcionou de 1897 a 1904. Depois disso foi arrematada por A.R. Pereira & Cia, mas extinguiu-se em 1918. No Espírito Santo o governo fundou e operou uma fábrica de 1912 até 1924 com precariedade. Não era um cimento que se pudesse usar em fundações de uma importante ponte como a do Potengi.

O que se há de observar é que como a Ponte sobre o Rio Potengi se tratava de uma obra importante e de grande porte, sendo necessária a utilização de cimento de qualidade e de boa procedência.

Por outro lado devido a grande resistência observada nos blocos da referida ponte e a ensaios de Permeabilidade e Resistencia à Compressão realizados em 2010 por Negreiros e Pereira observa-se que o cimento brasileiro que mais se assemelha é o pozolânico notadamente o CP II Z.

O cimento brasileiro que mais se assemelha, em termos de composição química é o CP II Z por possuir adição de pozolanas e é normalizado pela NBR 11578.

Portanto os dois cimentos têm propriedades pozolânicas. Um por qualidade observadas em uma obra com cem anos de existência conforme mostram os dados da data de início da construção e outro por especificações de fabricação e NBR 11578 (ABNT, 1991).

Na análise mineralógica com o DRX.

Apresentou nas primeiras fases um composto Katoita não observado nos cimentos brasileiros comuns de hoje e comentado por Taylor (1997) quando afirma:

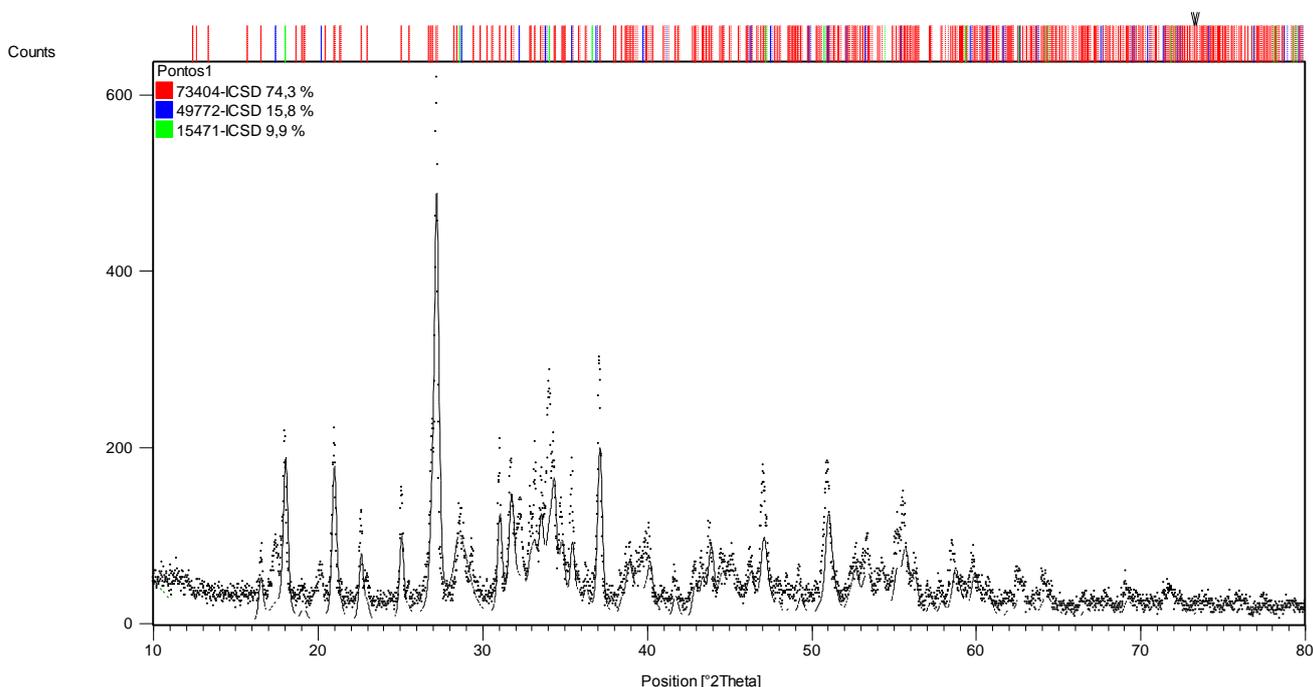
*... “C₃AH₆ is the only stable ternary phase in the CaO-Al₂O₃-H₂O system at ordinary temperatures, but neither it nor any other hydrogarnet phase is formed as a major hydration product of typical, modern Portland cements under those conditions. Minor quantities of hydrogamets are formed from some composite cements and, in a poorly crystalline state, from Portland cements. **Larger quantities were given by some older Portland***

cements, and are also among the normal hydration products of autoclaved cement-based materials. C3AH6 is formed in the 'conversion' reaction of hydrated calcium aluminate cements”,

Quando se classifica outras fases hidratadas, observa-se que alguns cimentos Portland velhos apresentam grandes quantidades da katoita.

A figura 4.221 a seguir nos mostra os pontos de pico indicando as fases,

Figura 4.2.2.1. –Fases mostrando a **Katoita** em 15,8% na cor azul.



A fase katoíta num percentual de 15,8% na figura 4.2.2.1 abaixo evidencia o caráter diferenciado deste cimento ensaiado.

Tabela 4.2.2.1 – Tabela correlacionando a katoita com Silicato de Cálcio hidratado e a Portlandita, adaptado pelos autores.

Nome	Porcentagem
Silicato de Cálcio hidratado $\text{Ca}_2 \text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	74,3%
Katoite $\text{Ca}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4) (\text{OH})_8$	15,8%
Portlandite $\text{Ca} (\text{OH})_2$	9,9%

Há de se comentar a grande quantidade de katoita encontrada no velho cimento Inglês.

Na Análise Química do FRX

Na Fluorescência de raios X a tabela da figura 4.2.2.2 abaixo elenca os percentuais dos compostos CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e demais.

Tabela 4.2.2.2 – Percentuais dos Compostos Mineralógicos – Observa-se o alto percentual do Óxido de Cálcio no cimento Inglês.

Composição química	Porcentagem
CaO	66,999%
SiO ₂	19,266%
Al ₂ O ₃	6,864%
Fe ₂ O ₃	3,477%
SO ₃	2,475%
TiO ₂	0,405%
K ₂ O	0,235%
MnO	0,177%
SrO	0,092%
ZrO ₂	0,011%

O Cimento Portland CP II Z

Segundo Negreiros et al (2012) o cimento com adição de pozolanas CP II Z, como um exemplo de cimento brasileiro compatível tem características de dar baixa permeabilidade e ser indicado para concretos de obras *offshore* semelhante a abastecida pelo cimento Inglês.

O concreto produzido com cimento pozolânico é mundialmente reconhecido como mais impermeável, conseqüentemente mais durável.

Na tabela da figura 4.2.2.3 abaixo vemos os principais cimentos brasileiros com adições de escória siderúrgica e materiais pozolânicos.

Tabela 4.2.2.3 -Tabela da ABCP onde se observa os percentuais de material pozolânico no CP II Z.

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Observemos a tabela abaixo onde o cimento A é CP II - Z 32 e o cimento B é o CP II Z 32 RS entra apenas como um exemplo de características semelhantes.

Tabela 4.2.2.4 – Tabela de Ludmila R. S. de Mattos¹; Denise C. C. Dal Molin²
Arnaldo M. P. Carneiro³, 2002.

Determinações		Resultados obtidos		Especificações da NBR 11578
		cimento A	cimento B	
Composição potencial do clínquer	C ₃ S	68,33 %	58,8 %	-
	C ₂ S	5,02 %	15 %	-
	C ₃ A	9,0 %	7,1 %	-
	C ₄ AF	9,07 %	10,4 %	-
Resíduo insolúvel		12,91 %	11,14 %	≤ 16
Perda ao fogo		3,82 %	5,54 %	≤ 6,5
Óxido de magnésio (MgO)		3,25 %	2,71 %	≤ 6,5
Trióxido de enxofre (SO ₃)		3,42 %	3,11 %	≤ 4
Finura	Resíduo na peneira 75 µm	2,3 %	1,4 %	≤ 12 %
	Área específica	560,5 m ² /kg	456 m ² /kg	≥ 260 m ² /kg
Massa específica		2,99 kg/dm ³	2,92 kg/dm ³	-
Início de pega		2:35 h	2 h	≥ 1 h
Fim de pega		4:15 h	3:10 h	≤ 10 h
Resistência à compressão	3 dias	18,9 MPa	17,5 MPa	≥ 10 MPa
	7 dias	32,9 MPa	24,3 MPa	≥ 20 MPa
	28 dias	38,0 MPa	35,7 MPa	≥ 32 MPa

Objetivo da análise comparativa dos cimentos

A qualidade e a durabilidade de um cimento com qualidades pozolânicas fabricado e aplicado em uma obra que resiste há cem anos na cidade de Natal/RN é prova inquestionável.

Pode-se afirmar que é uma boa lição tirada de uma velha obra que apresentou alta durabilidade.

A Katoita encontrada. Conclusão sobre o cimento

Segundo Negreiros et all (2012) com a presença da katoita em sua constituição mineralógica e comentada por Taylor (1997) de que grandes quantidades eram encontradas por alguns cimentos Portland antigos é prova de que o cimento utilizado na Ponte sobre o Rio Potengi em Natal/RN em 1912 não é realmente moderno.

A Katoita encontrada é um atestado de autenticidade ao cimento que se encontra na sede do IHGRN.

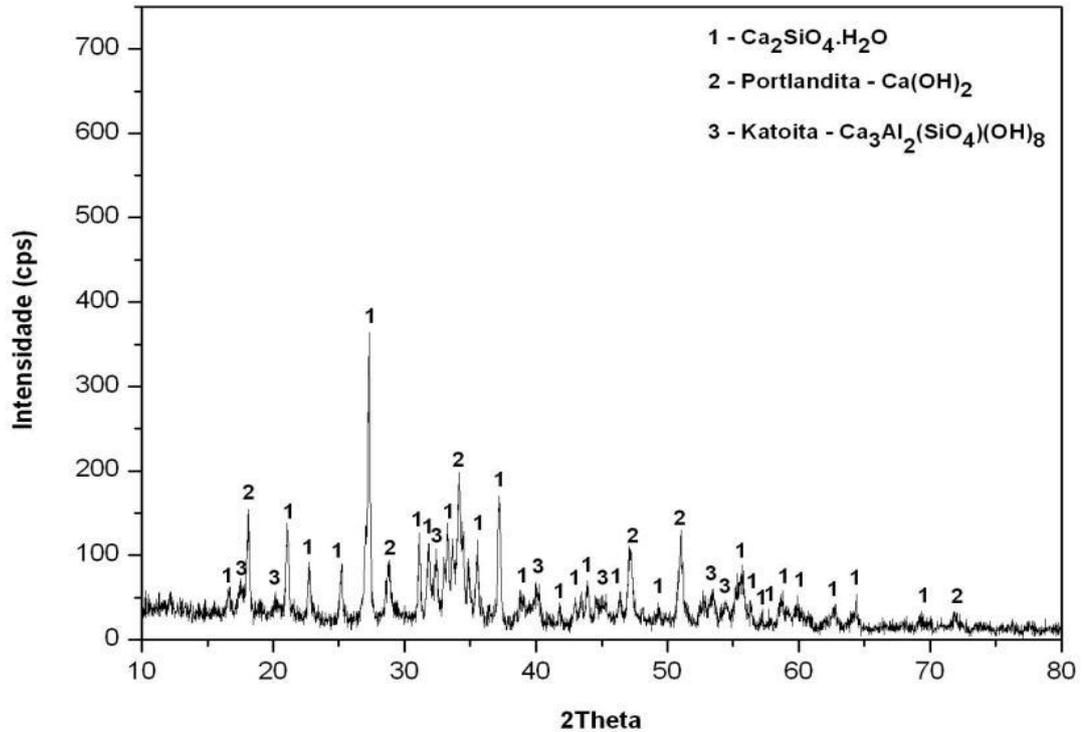
É necessário ser explicado que a presença da Katoita foi fortemente detectada e comprovada na segunda DRX, em 2012, devido a vários estágios de refinamentos realizados pelo laboratório da Química da UFRN.

4.2.2.1- Difratométrias de raios X

Ensaio realizado no **CTGAS-ER** em 2010, **RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 000.065/10 – LABEMAT.**

- Cimento:

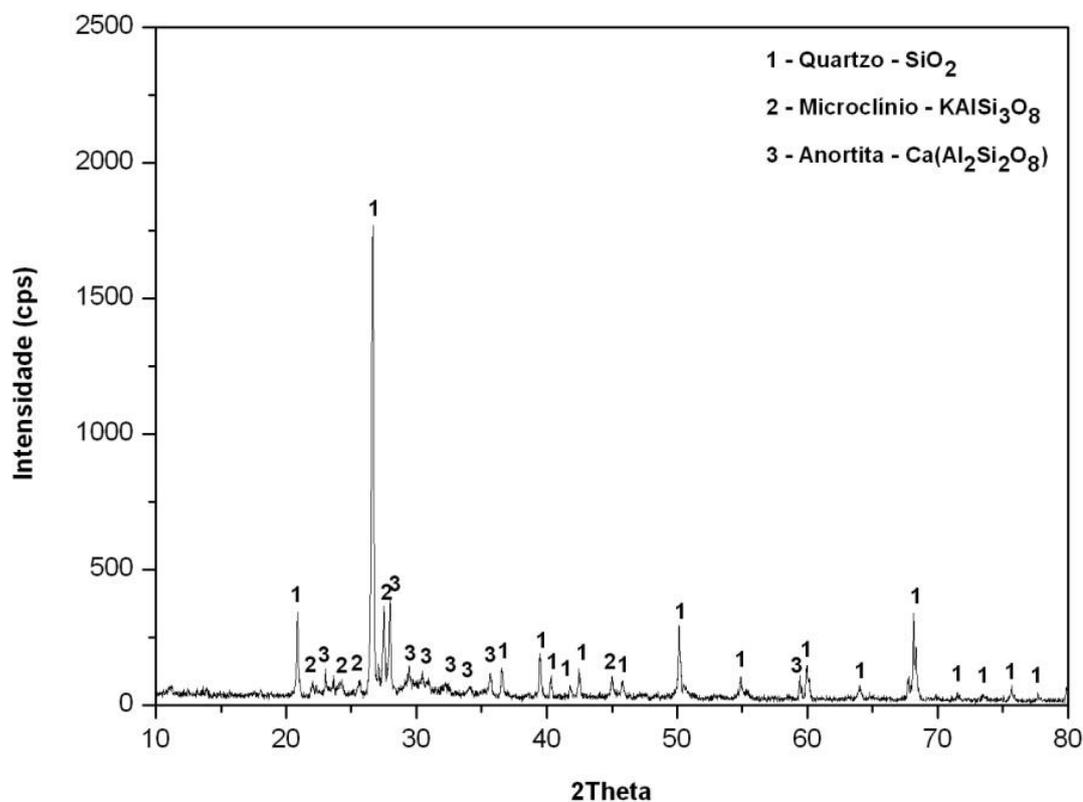
Figura 4.2.2.1.1 - Difratoograma do cimento utilizado



No Difratoograma as fases principais do cimento utilizado foram respectivamente: Hilebrandita: mineral a base de sílica, Portlandita: hidróxido de cálcio cristalino e a katoita: material refratário que contém sílica e alumina, segundo Callister (2001).

- Concreto:

Figura 4.2.2.1.2 - Difratoograma do concreto utilizado



No difratograma as fases principais do concreto utilizado foram respectivamente: quartzo: mineral composto de tetraedros de sílica, o microclínio: cristal variante do feldspato com origem de rochas vulcânicas e a anortita: mineral com grande quantidade de cálcio.

4.2.2.2- Fluorescência de raios X

Ensaio realizado no **CTGAS-ER** em 2010, **CTGAS-ER RELATÓRIO DE ANÁLISE N° 000.065/10 – LABEMAT**

Tabela 4.2.2.2.1 – FRX do cimento hidratado.

CIMENTO	
ÓXIDOS	%
CaO	60,60
SiO ₂	12,95
Al ₂ O ₃	4,06
Fe ₂ O ₃	2,71
SO ₃	0,82
MgO	0,81
TiO ₂	0,34
K ₂ O	0,13
MnO	0,13
SrO	0,09
Cr ₂ O ₃	0,04
ZrO ₂	0,03
NiO	0,03
CuO	0,02
ZnO	0,02
PF	17,22

Na análise química do cimento utilizado foi constatado a predominância de 60,6 % de óxido de cálcio e de 12,95% de óxido de silício.

Tabela 4.2.2.2.2 – FRX do concreto.

CONCRETO	
ÓXIDOS	%
SiO ₂	43,59
CaO	28,28
Al ₂ O ₃	8,15
K ₂ O	3,68
Fe ₂ O ₃	3,35
Cl	0,69
MgO	0,60
SO ₃	0,49
TiO ₂	0,43
MnO	0,09
SrO	0,05
ZnO	0,03
NiO	0,03

ZrO ₂	0,03
CuO	0,03
Cr ₂ O ₃	0,03
Rb ₂ O	0,02
Y ₂ O ₃	0,02
PF	10,41

Na análise química do concreto foi constatada a predominância de 43,59% de óxido de silício e de 28,28 de óxido de cálcio.

A predominância na porcentagem dos óxidos de silício e cálcio tanto no concreto como no cimento, comparada às dos outros elementos analisados, sugerem a utilização do mesmo cimento em ambos os casos. A predominância no concreto do óxido de silício se deve principalmente as características obtidas com o uso da sílica nos concretos, principalmente a diminuição da quantidade de hidróxido de cálcio (cristal fraco e solúvel), formado no processo de hidratação do cimento, transformando-o em um cristal resistente classificado como cálcio hidratado, segundo Neville (1997).

O cimento utilizado no Brasil normalmente tem uma porcentagem de 1% de óxido de cálcio e de 24% de óxido de silício, segundo Metha, e Monteiro (2008), mostrando a diferença do nosso cimento para o inglês utilizado nessa ponte.

O cimento utilizado na ponte metálica sobre o rio Potengi é um cimento pozolânico que contém como principal material cimentício a pozolana, um material natural ou artificial que contém sílica em forma ativa, conforme Uchikawa (1986).

A sílica proporciona a obtenção de um concreto com mais compactidade, com menor calor de hidratação, menor probabilidade de corrosão, maior resistência à compressão, menor porosidade, absorção e permeabilidade, reduzindo assim a penetração de CO₂ e Cl⁻ na superfície do concreto e os riscos de reação álcali-agregado, aumentando consideravelmente sua durabilidade e vida útil, segundo Isaia (2005) e (2007).

Além da porcentagem de sílica contida no cimento, os agregados utilizados também continham sílica conforme análise, aumentando ainda mais o efeito da sílica no concreto e sua porcentagem final obtida, de 43,59%.

A alumina presente na composição do cimento aumentou também a proteção do concreto à ação dos cloretos e a carbonatação pelas ações de suas propriedades no concreto, segundo Isaia (2005) e (2007).

A menor porcentagem de óxido de cálcio em relação ao óxido de silício no concreto evidencia uma menor produção de hidróxido de cálcio conseqüentemente, uma maior proteção quanto à carbonatação, já citada anteriormente pela ação da sílica Isaia (2005) e (2007).

CAPITULO 5

Conclusões e sugestões

5.1- Conclusões

A conclusão sobre a pesquisa documental foi de ter realizado o resgate de uma obra que resistiu ao tempo mostrando suas qualidades. A pesquisa documental mostrou que temos documentos suficientes para catalogar e analisar as grandes obras de cidade de Natal/RN.

As pesquisas experimentais vieram provar a grande qualidade do concreto e confirmar que o emprego do cimento certo no local certo só traz durabilidade a uma obra. No caso aqui estudado, a grande quantidade de pozolana encontrada no cimento e concreto ensaiados, a baixa absorção e porosidade do concreto vieram a corroborar com as teorias atuais de um bom concreto.

Como conclusão, o fato a se evidenciar é a qualidade pelo não aparecimento de trincas nos blocos vistoriados e pela resistência a compressão apresentados pelos dois testemunhos ensaiados a compressão.

Os blocos de N^o 05 a 09 foram vistoriados pelo autor do presente trabalho que constatou o nivelamento a olho nu. Nenhuma trinca foi detectada a olho nu nesses pilares. Os outros três pilares dos quais foram retiradas as treliças também apresentam nivelamento estável e exames de binóculos não detectaram trincas.

Pelo prumo em que se encontram esses blocos hoje há de se concluir que essas sapatas/blocos de fundações estão assentes em terreno firme conforme indicados em projetos. De 1916 para cá já houve várias enchentes do Potengi; em todas, os blocos ficaram incólumes e firmes no prumo.

Obviamente outro fator a se considerar, a qualidade e seriedade das empresas e engenheiros envolvidos é indiscutível e motivo de outro estudo mais detalhado e comprobatório.

5.2- Sugestões para trabalhos futuros

Como trabalho futuro este autor tem a sugerir:

1. O ensaio PIT – Pile Integrity Test nos nove pilares de fundações.
2. Ensaio de tração no aço e de peças estratégicas das treliças.

REFERÊNCIAS

Periódicos, Revistas e Jornais:

Eytier, Jean-Louis (2005) Georges-Camille Imbault (An. 1892), dans "Arts & Métiers Magazine", septembre 2005, n. 285 .

Gaudard, Jules, (1891) Revista de Engenharia. Ano III. Número 11. Club de Engenharia. Typographia Economica. Rua Gonçalves Dias N^o 28. Rio de Janeiro

Revista Concreto & Construções. (2011): Cem anos de Resistência do Concreto na Ponte do Rio Potengi, Vol. 62, p.22 a 26.

Revista de Engenharia (1891) Fonte: <http://memoria.bn.br/DocReader/hotpage/hotpageBN.aspx?bib=709743&pagfis=507&pesq=revista+de+engenharia+caixoes+de+funda%C3%A7%C3%A3o+a+ar+comprimido&url=http://memoria.bn.br/docreader>. Acessado em 29.01.2013 às 0h 44min.

Revista do Club de Engenharia. (1891) Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.memoria.bn.br>.

"The Engineer" (1905) 7 de abril de 1905. Disponível em: <http://www.gracesguide.co.uk/images/5/5a/Er19050407.pdf>.

"The Railway Times". (1915) Janeiro – Junho. Londres.

Mensagens e relatórios Governamentais:

Catálogos:

The Cleveland Bridge and Engineering Co. Limited – Darlington England. (1935). Hood & Co. Limited. Sanbride Works. Middlesbrough. England, p. 5,16,17,31 e 34.

Cleveland Bridge – Creating Landmarks World-wide (2011) Catalog edited by Cleveland Bridge UK – Darlington- UK.

Livros:

Addis, Bill. (2009) Edificação: 3000 Anos de Projeto, Engenharia e Construção, tradução Alexandre Salvaterra, Bookman, Porto Alegre, p.48 e 439.

Andrade, C. (1999) Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Trad. De Antonio Carmona e Paulo Helene. São Paulo, Pini.

Arrais, Raimundo. Andrade, Alenuska. Marinho Marcia. (2008): O Corpo e a Alma da Cidade: Natal entre 1900 e 1930. EDUFRN, Natal, p. 99-116.

Barman, Roderick J. (1999) *Citizen Emperor: Pedro II and the Making of Brazil, 1825–1891* (em inglês). Stanford: Stanford University Press.

Burnside, W. (1916) *Bridge Foundations*. Scott, Greenwood & Son, London, p.84 a 101.

Burnell, George R. *Supplement to the Theory, Practice and Architecture of Bridges*. John ed Weale, London, 1850.

Callister, W. Jr. (2001) *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Editora LTC.

Cascudo, O. (1997) *O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto- Inspeções e Técnicas Eletroquímicas*. Editora UFG. Goiânia.

Cascudo, Luis da Câmara. (2010) *História da Cidade do Natal*. 4 ed., EDUFRN, Natal, p.29-31-534-535-536.

Clough, Dean. (1998) *Golden Years of Darlington*, True North Books, Halifax, UK, p.40.

Dorfman, Gabriel. (2003) *A História do Cimento e do Concreto*, Editora Universidade de Brasília, Brasília, p.11 a 35.

Engenharia, Instituto de. (2007) *Engenharia do Brasil, 90 anos do Instituto de engenharia*, Instituto de Engenharia, São Paulo, p.11.

Fundações: Teoria e prática. (1998) Vários autores. Editora PINI, São Paulo.p.401.

Isaia, G. (2005) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*, Vols.1 e 2, IBRACON, SP. 2005.2v.

Isaia, G. (2007) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, Vols.1 E 2, IBRACON, SP.

Lyra, Carlos. (2001) *Natal Através do Tempo*, Sebo Vermelho, Natal, p.35 e 58.

Melo, Veríssimo de. (2007) *Natal Há 100 Anos Passados*, Sebo Vermelho, Natal, p. 15.

Merriman, Mansfield. Jacoby, Henry S. (1915) *Roofs and Bridges*, John Wiley & Sons, New York, p.67-93-175.

Metha, P.K e Monteiro, P. (2008) *Concreto- Microestrutura, Propriedades e Materiais*. IBRACON, SP.

Monteiro, Denise Mattos. (2007) *Introdução a História do Rio Grande do Norte*, Editora da UFRN, p.136.

Neville, A. (1997) Propriedades do Concreto, São Paulo, Editora PINI.

Russel, Helena. (2002) Cleveland Bridge 125 Years of History. Peter Hughes, Henning Information Services, London, UK, p.16-18-20-22.

Rodrigues, Wagner do Nascimento. (2003) Potengi: Fluxos do Rio Salgado no Século XIX. Sebo Vermelho, Natal, p.45-51-133-141.

Suassuna, Luiz E. B. Mariz, Marlene da. (2005) História do Rio Grande do Norte, 2 ed. Sebo Vermelho, Natal, p.222.

Taylor, H. F. W. (1997) Cement Chemistry, 2nd edition. Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Services Ltd, 1 Heron Quay, London E144JD.

Telles, Pedro Carlos da Silva. (1984) História da Engenharia no Brasil, LTC Editora SA, Rio de Janeiro, p. 468-470-473-477.

Thorpe, William Henry. (1906) The Anatomy of Bridgework, E.& F.N. Spon, London, p.38,40, 41.

Tecnologia, IPT 90 anos de. (1994) IPT 90 Anos de Tecnologia, IPT, São Paulo, p.13-15.

Terzaghi, K.; Peck, R. B. (1962) Mecânica dos Solos na Prática da Engenharia. Tradução: Antonio José da Costa Nunes e Maria de Lourdes Campos Campello. Ao Livro Técnico S.A. Rio de Janeiro:

Vargas, Milton. (org.) (1994) História da Técnica e da Tecnologia no Brasil, Editora UNESP, São Paulo, p. 190-194-211.

Velloso, D. A.; lopes, F. R. (2002) Fundações. 3. ed., v. 1, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ,

Livros eletrônicos:

Dempsey, G. Drysdale. (1850) Tubular and other Iron Girder Bridges, Particularly Describing The Britannia and Conway Tubular Bridges. John Weale, London.

Em:

http://books.google.com.br/books?id=Ro2URTS3s_wC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acessado em 6.02.2013.

Fidler, T Claxton. (1887) A Practical Treatise on Bridge-Construction. Charles Griffin & Co., London. Em:

<http://books.google.com.br/books?id=yPw4AAAAMAAJ&q=inauthor:%22Thomas+Claxton+Fidler%22&dq=inauthor:%22Thomas+Claxton+Fidler%22&hl=pt-BR&sa=X&ei=ERQTUZmtOOaR0QGC0oG4CA&ved=0CEUQ6AEwBA>. Acessado em 6.02.2013.

Ponnuswamy, S. (2007). Second edition.

<http://books.google.com.br/books?id=VfRMyREWyuoc&pg=PA318&lpg=PA318&dq=steining&source=bl&ots=v3dqnfNrAd&sig=1Ji0dTQmXYgDMqzOhIXxCL1EBRQ&hl=pt-BR&sa=X&ei=GOtFUa3LBYzK0AGd2YDgBg&ved=0CLQCEOgBMCQ#v=onepage&q=steining&f=false>

Venkatramaiah, C. (2006) Geotechnical Engineering, New Age International Publishers, Third Edition Revised, New Dehli.

<http://books.google.com.br/books?id=ftzs8hDiAJgC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>

Artigos eletrônicos:

Singh, Saurabh (2013)
http://blogs.siliconindia.com/civilengineering/Well_Foundation-bid-Q3qK82yo75764524.html.

Capítulo em livro ou Obra Coletiva:

Arrais, Raimundo. (2006) Surge et Ambula: A Construção de uma Cidade Moderna, (Natal, 1890-1940), Ferreira, Angela Lúcia. Dantas, George (orgs.), EDUFRN-Editora da UFRN, Natal, p.121,123.

Battagin, A. F.; Battagin, I. L. S. (2010) O cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G. C. (org.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. 2. Ed. Atual. Ampl. IBRACON. São Paulo.

Freitas, Maria Teresa de Assunção. (2002) Educação em Engenharia: Metodologia, Pinto, Danilo Pereira. Nascimento, Jorge Luis do (orgs.). Editora Mackenzie, São Paulo.p.40.

Trabalho em Anais de Congresso (Anais impressos ou em CD-ROM):

Negreiros, Manoel. Pereira, Fábio. (2010) Cem anos de Resistência de um Concreto na Ponte sobre o Rio Potengi. Anais do 52^o Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, p. 3 a 13.

Negreiros, Manoel et al. (2012). Estudo De Um Cimento Inglês Com Cem Anos De Idade e do CP II Z Brasileiro. Anais do 54^o Congresso Brasileiro do concreto, Maceió, p.3 a 7.

Teses e Dissertações:

Andrade, Alenuska Kelly Guimarães (2009) A eletricidade chega a cidade: inovação técnica e a vida urbana em Natal (1911-1940), Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em História da UFRN, Natal, p. 65.

Frazão, Eugenio Pires. (2003) Caracterização Hidrodinâmica e Morfo-Sedimentar do Estuário Potengi e Áreas Adjacentes: Subsídios para Controle e Recuperação Ambiental no caso de Derrames de Hidrocarboneto. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, p 7 e 8.

Medeiros, Gabriel Leopoldino Paulo de. (2011) Caminhos que estruturam cidades redes técnicas de transporte e a conformação intra-urbana de Natal (1881-1937). Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Natal, p. 72 e 85.

Monticelli, Gislene. (2005) Arqueologia em Obras de Engenharia no Brasil: Uma Crítica aos Contextos. Tese de Doutorado, no Curso de Doutorado Internacional em Arqueologia do Programa de Pós-graduação em História da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Rodrigues, Wagner do Nascimento. (2006) Dos Caminhos de Água aos Caminhos de Ferro: A Construção da Hegemonia de Natal Através das Vias de Comunicação (1820-1920), Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRN, p.39-60-70-89-99-120-145-147-150-153-157.

Normas:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT (2004). NBR 6118/04. Projeto de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro.

_____. NBR 11578 (1991): Cimento Portland Composto: procedimento. Rio de Janeiro. 5p.

_____. NBR 5739 (1994): concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 4p.

_____. NBR 6502 (1995) Rochas e Solos – Terminologia, Rio de Janeiro.

_____. NBR 7584 (1995). Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro.

_____. NBR 7680 (1987). Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, Rio de Janeiro.

_____. NBR 9452 (1986) Vistorias de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro.

_____. NBR 9778. Determinação da absorção de água por imersão – Índices de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 1987.

BS 146. (2002) Specification for blastfurnace cements with strength properties outside the scope. London. UK.

Internet:

ABPF. Disponível em: <http://www.abpf.org.br/> Acesso em 14.02.2010.

ANPF. Disponível em: <http://www.anpf.com.br/> Acesso em 14.02.2010.

Lápis medidor ph disponível em <http://www.rogertec.com.br> e acessado em 02.07 2010.

CBUK - <http://www.clevelandbridge.com/main.asp?companyid=1> .Acessado em 03.08.2010.

Structurae - <http://en.structurae.de/persons/data/index.cfm?id=d001406> . Acessado em 03.08.2010.

Delagoabay - <http://delagoabayword.wordpress.com/>. Acessado em 04.10.2012.

[Http://www.bridgesite.com/](http://www.bridgesite.com/)acesso em 10.02.2010.

Cleveland - [http://www.gracesguide.co.uk/Cleveland Bridge and Engineering Co.](http://www.gracesguide.co.uk/Cleveland_Bridge_and_Engineering_Co.) Acessado em 8.05.2012

Brunel, Isambard Kingdom.[http://en.wikipedia.org/wiki/Isambard Kingdom Brunel](http://en.wikipedia.org/wiki/Isambard_Kingdom_Brunel). Acessado em 30.01.2013, às 16h 55min.

DER/RN – Departamento de Estradas e Rodagens do Rio Grande do Norte.

Forrest, Bob. Entrevista em 11.08.2011. Darlington, Inglaterra, RU.

Fundos do Ministério do Transporte do Arquivo Nacional – GIF1 - de 1870 a 1920. Rio de Janeiro.

Galvão, Jaeci Emerenciano. Acervo de fotografias particular cedidas por seu filho Jaeci Jr.

GEPE Engenharia LTDA. Relatório de Sondagem SPT. 1988.