

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DORIEL ANDRADE DOS SANTOS**

**UTILIZAÇÃO DE DUTOS DESCARTADOS DO GASODUTO COARI-  
MANAUS PARA CONFEÇÃO DE PONTE PROVISÓRIA SOBRE O  
IGARAPÉ DO CEDRO SEGUNDO A NORMA API 5L X70**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BELÉM-PA**  
**2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UTILIZAÇÃO DE DUTOS DESCARTADOS DO GASODUTO COARI-  
MANAUS PARA CONFEÇÃO DE PONTE PROVISÓRIA SOBRE O  
IGARAPÉ DO CEDRO SEGUNDO A NORMA API 5L X70**

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica do Instituto de  
Tecnologia da Universidade Federal do  
Pará como requisito para obtenção do  
Título de Mestre em Engenharia Elétrica  
com ênfase em Processos Industriais.

**DORIEL ANDRADE DOS SANTOS**

**ORIENTADORA: PROFRA. DRA. MARLENE DE ARAÚJO FARIA**

**BELÉM-PA**  
**2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DORIEL ANDRADE DOS SANTOS

UTILIZAÇÃO DE DUTOS DESCARTADOS DO GASODUTO COARI-MANAUS  
PARA CONFEÇÃO DE PONTE PROVISÓRIA SOBRE O IGARAPÉ DO CEDRO  
SEGUNDO A NORMA API 5L X70

DEFESA DE MESTRADO

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica a Área de Concentração em Processos Industriais do Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – ITEC - UFPA.**

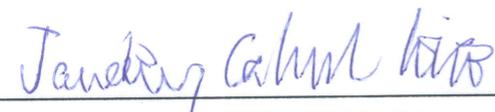
Belém-PA, 03 de Setembro de 2010.

---

Prof. Dr. José Antonio de Souza Silva  
Coordenador do CMPPI

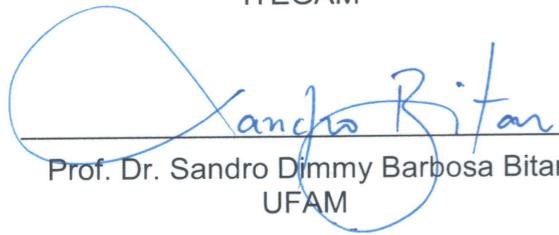
BANCA EXAMINADORA

  
Profra. Dra. Marlene de Araújo Faria  
Orientadora EST/UEA

  
Eng. Jandecy Cabral Leite  
ITEGAM

---

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira  
UFPA

  
Prof. Dr. Sandro Dimmy Barbosa Bitar  
UFAM

## **DEDICATÓRIA**

A minha querida esposa  
Maria de Nazaré Saunier Barbosa,  
mulher extraordinária, amável, dedicada  
e incentivadora na busca de novas  
conquistas e realização da minha vida  
profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para realização e divulgação deste trabalho.

A Universidade Federal do Pará- UFPA, Instituto Galileo da Amazônia – ITEGAM e os professores Dra. Marlene Araújo de Faria, MSc. Jandecy Cabral Leite, Doutor Roberto Célio Limão de Oliveira e Doutor. Sandro Dimmy Barbosa Bitar pela condução e orientação com excelência durante o curso.

Aos meus pais Aurelino Nunes dos Santos e Hilda Andrade dos Santos, pelas orações diárias para minha proteção espiritual, saúde e nas conquistas da vida profissional e familiar.

Meu especial agradecimento a todas as pessoas que colaboraram como sujeitos desta pesquisa como os professores Eng. Lourival Paula de Goes e Doutor Francisco Herrera da Universidade Estadual do Amazonas – UEA.

## **EPIGRAFE**

Pouco conhecimento faz que as criaturas se sintam orgulhosas.

Muito conhecimento, que se sintam humildes.

É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu enquanto que as cheias a baixam para terra, sua mãe.

Leonardo da Vinci

## RESUMO

SANTOS, D. A. **Utilização de dutos descartados do gasoduto Coari-Manaus para confecção de ponte provisória sobre o igarapé do Cedro segundo a norma API 5L X70.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. 91p.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa de construção de uma obra de engenharia, com o aproveitamento de dutos API 5L X70 descartados do gasoduto Coari-Manaus, no processo de construção de uma ponte provisória sobre o Igarapé do Cedro na floresta amazônica, para viabilizar os transportes de materiais e de trabalhadores para produção industrial de construção da Estação de Compressão – ECOMP em Juaruna. Para verificação do comportamento de um elemento da ponte, utilizou-se o programa Ansys 8.0 que aplica o método numérico como análise das tensões e deformações de elementos estruturais submetidos a esforços. Apresenta também uma proposta ambiental de mitigação dos impactos provocados pelos equipamentos na travessia do Igarapé do Cedro e os desafios logísticos de transportes enfrentados pelas empresas na região amazônica.

**Palavras-Chave:** Dutos, Produção Industrial, Transporte e Meio Ambiente.

## ABSTRACT

SANTOS, D. A. **Use duct disposed of the Coari-Manaus for making temporary bridge over the creek Cedar according to API 5L X70.** Master degree dissertation. Institute of Technology. Federal University of Pará, Belém, 2010. 91p.

This paper aims to present an alternative construction of an engineering project, with the use of API 5L X70 pipeline discarded the Coari-Manaus, in the process of building a temporary bridge over the Cedro affluent of the Amazon rainforest, to enable transport workers and materials for industrial production of construction Compression Station - ECOMP in Juaruna. To verify the behavior of an element of the bridge, we used the ANSYS 8.0 program that applies the method to numerical analysis of stresses and deformations of structural elements subjected to stresses. It also presents a proposal for mitigation of environmental impacts caused by the equipment at the crossing of the affluent of Cedro and the logistical challenges faced by transportation companies in the Amazon region.

**Key Words:** Pipelines, Industrial Production, Transportation the Environment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Mapa do gasoduto Coari-Manaus	14
<b>Figura 1.2:</b> Acesso terrestre da Clareira 9 em Juaruna	14
<b>Figura 2.1:</b> Sequência estratigráfica da Bacia Solimões	25
<b>Figura 2.2:</b> Igarapé do Cedro na super cheia de 2009	27
<b>Figura 2.3:</b> Barranco as margens do rio Urucu com solo escavado	28
<b>Figura 2.4:</b> Igarapé do Cedro, transbordamento e consequente ocupação	29
<b>Figura 2.5:</b> Igarapé do Cedro, planície de inundação na área da passarela	30
<b>Figura 2.6:</b> Área em corte mostrando depósito formado pela ação fluvial	31
<b>Figura 2.7:</b> Terraço em corte no acesso existente	31
<b>Figura 2.9:</b> Terraço em corte no acesso existente próximo a chegada da ECOMP	32
<b>Figura 2.10:</b> Vista de parte de um trecho do acesso existente	34
<b>Figura 2.11:</b> Vista de parte de um trecho do acesso existente	35
<b>Figura 2.12:</b> Solo superficial argilo-arenoso	36
<b>Figura 2.13:</b> Área da ECOMP	37
<b>Figura 2.14:</b> Local sugerido para área de bota-fora	38
<b>Figura 2.15:</b> Confluência do Rio Negro com o Rio Amazonas	41
<b>Figura 2.16:</b> Erosão em uma zona de depósitos de morainas	42
<b>Figura 2.17:</b> Relação entre a cobertura vegetal e o eflúvio superficial	43
<b>Figura 2.18:</b> Formação de ilhas na zona de sedimentação	44
<b>Figura 2.19:</b> Perfil ecobatimétrico revelando depressão	45
<b>Figura 2.20:</b> Esquema da morfologia dos leitos fluviais de rios	46
<b>Figura 2.21:</b> Subdivisão ecológica da Amazônia	48
<b>Figura 2.22:</b> Teor iônico da fração pelítica dos solos superficiais da Amazônia	50
<b>Figura 2.23:</b> Curvas de Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Real	51
<b>Figura 3.1:</b> Gasoduto Coari-Manaus trecho B2 em Manacapuru	53
<b>Figura 3.2:</b> Curva de tensão-deformação de engenharia	54
<b>Figura 3.3:</b> PIPE18 - Elastic Curved Pipe (Elbow)	58
<b>Figura 3.4:</b> Linha de Influência de um elemento da Ponte	59

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1:</b> Sondagens do Acesso Terrestre	33
<b>Tabela 2.2:</b> Quimismo de alguns rios da região amazônica	46
<b>Tabela 2.3:</b> Teor iônico, meq-g/l, da fração pelítica dos solos	49
<b>Tabela 4:</b> Print unodal solution per node	68

# SUMÁRIO

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

## RESUMO

## ABSTRACT

<b>1. CAPÍTULO I</b>	<b>13</b>
1.1 Introdução	13
1.2 Contextualização	13
1.3 Delimitação do Estudo	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo Geral	14
1.4.2 Objetivos Específicos	15
1.5 Metodologia Aplicada à Pesquisa	15
1.5.1 Caracterização da Pesquisa	15
1.6 Descrição e Organização dos Capítulos	16
<b>2. CAPÍTULO II</b>	
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	
2.1 A Geologia de Engenharia e o Meio Ambiente	17
2.2 Aspectos Gerais sobre a Geologia Local	24
2.3 Geomorfologia	26
2.4 Geologia Local	28
2.5 Análises Geotécnicas	32
2.6 Estudos Geotécnicos	32
2.6.1 Investigações Geotécnicas	33
2.7 Resultados Obtidos nas Sondagens	34
2.8 Acesso Terrestre	34
2.9 Áreas de Bota-fora	38
2.10 Materiais Naturais de Construção	38
2.10.1 Argila	39
2.10.2 Areia	39

2.10.3 Brita	40
2.10.4 Seixo	40
2.11 Hidrografia	41
2.12 Morfologia dos cursos d'água	43
2.13 Heterogeneidades geoquímicas	46

### **3. CAPÍTULO III**

#### **ESTUDO DE CASO**

3.1 Definições de Tubos e Dutos	52
3.2 Fabricação dos Dutos	52
3.3 Especificação API 5L	53
3.4 Mecânica dos Sólidos	55
3.4.1 Equação de Deformações-Deslocamentos	55
3.4.2 Equação Constitutivas	57
3.5 Análise Comportamental de um Duto como Elemento Estrutural da Ponte	57
3.5 Levantamento topográfico da Ponte sobre o Igarapé do Cedro	68

### **4. CAPÍTULO IV**

#### **CONCLUSÃO, BIBLIOGRÁFIAS E ANEXOS**

4.1 Conclusão	60
4.2 Sugestão para Trabalhos Futuros	62
4.1 Referências	63
4.2 ANEXOS	67
4.3 APÊNDICES	79

## **CAPITULO I**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

#### **1.2 Contextualização**

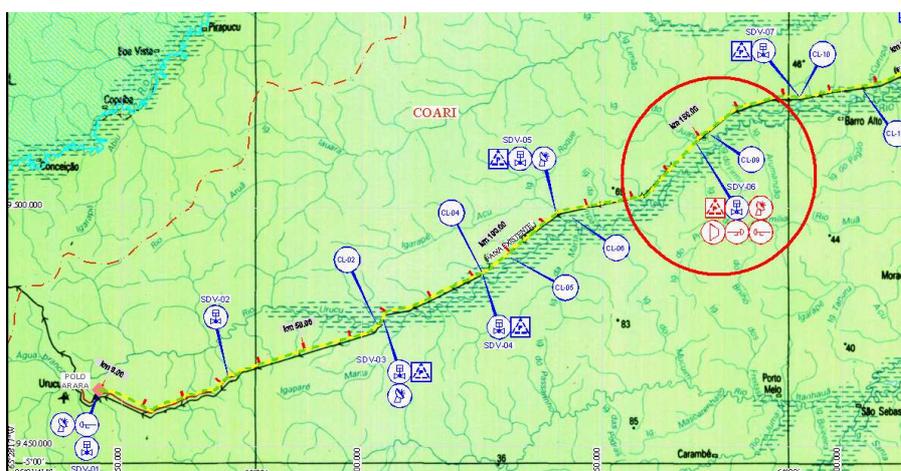
O gasoduto Coari-Manaus está localizado em uma área bastante sensível da floresta amazônica do ponto de vista ecológico e exige um altíssimo padrão de confiabilidade, imbuída pelo respeito ao meio-ambiente e o compromisso com o desenvolvimento sustentável. Os desafios que envolveram a construção do gasoduto foram enormes e continuam com sua operação, manutenção e construção da Estação de Compressão-ECOMPs, por conta, da variação no nível d'água dos rios do Amazonas, entre os períodos de cheia e seca, quando as faixas de servidão e acessos terrestres ao gasoduto ficam submersas em alguns meses do ano e expostas nos outros (EIA RIMA, 2004).

Segundo Neiva (1997), a construção de dutos exige um grande trabalho. As linhas de tubos passam por aclives acentuados, vales, rios e muitas vezes até por locais de várzeas. Depois do traçado da linha vem o estudo topográfico, seguido de questões jurídicas relativas aos terrenos por onde os tubos irão passar. Os serviços de montagem incluem várias operações; limpeza do local, abertura de valas, transportes e colocação de tubos, soldagem, revestimento dos tubos e por fim a cobertura da vala. Concluída a etapa de construção do duto, as tubulações são recobertas e a superfície por onde passa é totalmente recomposta, mitigando consequência para o meio ambiente da região para a vida da população. A Petrobras adota regras nacionais e internacionais de segurança nos métodos de projeto, construção e operação para implantação de oleodutos e gasodutos.

#### **1.3 Delimitação do Estudo**

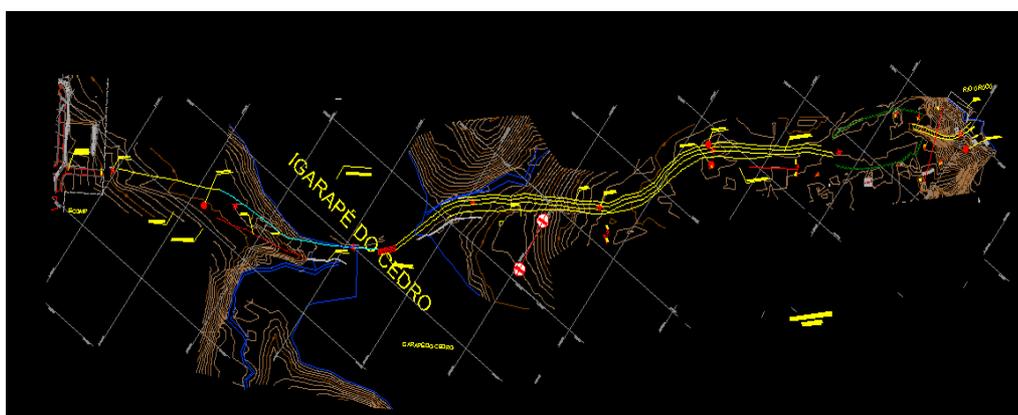
A ponte do Igarapé do Cedro fica localizada no km 150 do gasoduto Coari-Manaus especificamente a Clareira 9 na comunidade Juaruna no município de Coari, conforme a Figura 1.1 As alterações das características ambientais, como a supressão da vegetação e a alteração da qualidade das águas, que abastecem as comunidades locais foi o fator mais relevante para o projeto da ponte. O maior desafio para qualquer projeto no sistema Petrobras, é que, atenda todas as especificações das normas técnicas de construção de

pontes e grandes estruturas, observando as questões ambientais, de segurança e de trafegabilidade.



**Figura 1.1:** Mapa do gasoduto Coari-Manaus

O acesso terrestre fica localizado no km 152 da faixa do gasoduto URUCU-MANAUS, conforme a Figura 1.2, a mais precisamente no local denominado JUARUNA, no município de Coari-AM, denominada ECOMP JUARUNA.



**Figura 1.2:** Acesso terrestre da Clareira 9 em Juaruna

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Construir um projeto inovador de uma ponte utilizando 39 dutos, e que, atenda as especificações das normas técnicas de construção de pontes e grandes estruturas, observando as questões ambientais, de segurança e de trafegabilidade.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Apresentar e discutir o projeto de construção da Ponte sobre o Igarapé do Cedro junto à fiscalização Petrobras para posterior aprovação;
- Verificar o melhor posicionamento dos dutos no leito do Igarapé do Cedro;
- Conservar as características físicas margens do Igarapé do Cedro;
- Melhor a drenagem pluvial do Acesso Terrestre;
- Evitar o assoreamento do Igarapé do Cedro com a construção da Ponte;
- Verificar os aspectos de segurança na construção da Ponte sobre o Igarapé do Cedro e a capacidade de suporte de carga para equipamentos de até 150 toneladas;

## 1.5 Metodologia Aplicada à Pesquisa

### 1.5.1 Caracterização da Pesquisa

Os estudos consistiram na coleta de dados disponíveis na bibliografia e análise de mapas da região do projeto; incursão a campo para o mapeamento geológico/geotécnico da área de implantação do empreendimento e suas adjacências, investigações geotécnicas, análises e interpretação dos resultados. Esses estudos subsidiaram concepções de soluções para a interação solo-estrutura visando o dimensionamento da infra-estrutura dos projetos de pavimentação, terraplenagem, fundações das edificações e obras-de-arte.

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos estudos apresentados neste relatório consistiu basicamente de:

- *Mapeamento da área de interesse do projeto – Foram realizadas observações das exposições naturais e daquelas resultantes de cortes já executados na área de projeto, consubstanciado em dados obtidos do levantamento bibliográfico, análises dos mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos da região do projeto. Deste mapeamento resultaram indicações dos tipos de solos presentes na região, presença de terrenos alagadiços e suas principais características.*
- *Investigações Geotécnicas – Através da execução e acompanhamento das sondagens percussivas e a trado. Foram realizadas 8 sondagens a trado e*

*53 sondagens a percussão na área do projeto. Essas investigações proporcionaram a caracterização geotécnica para os estudos de projetos do subleito e pavimentação; taludes de corte e aterros; terraplenagem; fundações dos aterros e das edificações; e obras-de-arte.*

- *Análises e Interpretação dos Resultados – Através da avaliação integrada dos resultados obtidos. Esta avaliação permitiu a concepção de soluções de engenharia específicas para a elaboração do Projeto Feed de Geologia e Geotecnia.- Os estudos geológico-geotécnicos foram executados de acordo com as Normas Técnicas Petrobras e ABNT.*

## **1.6 Descrição e Organização dos Capítulos**

Uma vez definido o universo a ser trabalhado, o presente estudo foi dividido em quatro capítulos assim constituídos:

**O Capítulo 1:** Apresenta os aspectos introdutórios sobre a problemática do assunto, contendo a justificativa, o objetivo geral e os específicos a serem alcançados e/ou cumpridos, a Delimitação da pesquisa e a descrição e organização dos capítulos. Mostram também como são definidos os procedimentos metodológicos desenvolvidos no trabalho, onde são definidas as caracterizações da pesquisa, a localização e os procedimentos, métodos e técnicas aplicadas para a realização do presente trabalho.

**O Capítulo 2:** Apresenta a fundamentação teórica de acordo com a bibliografia sobre o estudo da geologia local, visando os aspectos técnicos, com enfoque na importância das normas aplicadas a construção e montagem de pontes; levando em consideração os aspectos ambientais, hidrografia local e geotecnia através de resultados de ensaios laboratoriais.

**O Capítulo 3:** Apresenta as características do material utilizado na construção e montagem da Ponte sobre o Igarapé do Cedro; a aplicação de normas nacional e internacionais nos processos de construção e montagem de dutos terrestres e análise do comportamento estrutural dos elementos utilizados através do programa ANSY. Apresenta explicitação dos resultados encontrados através de diagramas e tabelas para proporcionar ao leitor uma melhor compreensão sobre a análise dos dados obtidos.

**O Capítulo 4:** Apresentam a conclusão da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros, referências e Anexos.

## **CAPITULO II**

### **REFERENCIAL TEÓRICO**

Depois da estrutura, a definição do problema de pesquisa e seus objetivos propostos, cabem agora neste Capítulo II abordar os levantamentos de campo que envolvem a geologia local, meio ambiente e suas aplicações como referências através das literaturas sobre os assuntos, dando aspectos aos processos práticos utilizados em riscos da construção da Ponte sobre o Igarapé do Cedro.

#### **2.1 A Geologia de Engenharia e o Meio Ambiente**

O estudo da composição da Terra e seus processos geodinâmicos internos e externos tendo como alvo a elucidação da história do planeta, caracterizam a Geologia como ciência básica (POTAPOVA *apud* OLIVEIRA, 1995). Por outro lado, a aplicação dos conhecimentos geológicos na exploração e exploração de recursos minerais (petróleo etc.), bem como no estabelecimento do equilíbrio das relações entre as atividades humanas e o meio ambiente, caracterizam a Geologia como ciência aplicada. Neste segundo caso fica caracterizada a Geologia Aplicada ao Meio Ambiente.

A Geologia de Engenharia tem suas raízes anteriores aos principais movimentos e programas ambientalistas mundiais. Ela desenvolveu-se e consolidou-se, em todo o mundo, no campo da Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, quando os investimentos em grandes obras passaram a exigir o conhecimento geológico na elaboração dos projetos, em consequência dos acidentes de origens geológicas ocorridos com barragens, tais como : Malpasset, França, 1959; Vaiont, Itália, 1963 (OLIVEIRA, 1996).

No Brasil, a história da Geologia de Engenharia pode ser resumida em 4 estágios (OLIVEIRA, 1995).

O primeiro estágio compreende o período colonial do Império e a República até 1937. É caracterizado pelo uso da prática, sem fundamentação teórica, na solução dos problemas de Geologia de Engenharia, baseando-se na observação do comportamento da natureza. É o estágio de enfoque empírico do meio físico.

O segundo estágio compreende o período de 1937 a 1955. Tem seu início marcado pela implantação da Seção de Geologia e Petrografia do IPT, com sua primeira publicação, Boletim n.º 18, enfocando a utilização dos granitos da Serra da Cantareira na construção civil. Em 1955 esta Seção transformou-se na Seção de Geologia Aplicada e atualmente Divisão de Geologia constituindo o maior centro de pesquisas na área de Geologia de Engenharia do país.

A partir deste estágio as soluções dos problemas de Engenharia passam a ser fundamentadas em princípios da Resistência dos Materiais e Mecânica dos Solos. É o estágio de enfoque geológico do meio físico, caracterizando o surgimento da Geologia Aplicada, com grande esforço de tradução das características geológicas para as necessidades de Engenharia.

O terceiro estágio compreende o período de 1955 a 1974 e caracteriza-se pela consolidação da Geologia de Engenharia, sob forte influência da Engenharia, demandando a especialização para solução de problemas em obras civis como barragens e estradas. Assim, acompanhando o desenvolvimento da Mecânica dos Solos e das Rochas, este estágio é marcado pelo enfoque geotécnico do meio físico consistindo na conversão das características geológicas em parâmetros úteis aos projetos de engenharia.

O quarto estágio compreende o período de 1974 até o presente, caracteriza-se pela diversificação das atividades da Geologia de Engenharia, que marcam presença em obras como túneis, canais, mineração a céu aberto e subterrâneo, assim como na solução de problemas de uso do solo relativos às áreas urbanas. Este estágio distingue-se pela maturação da Geologia de Engenharia com resgate de sua base científica, a Geologia, fortemente influenciada pela Engenharia no estágio anterior. Dispondo agora de um acervo tecnológico formidável, constituindo a Geotecnia mediante a união do seu acervo com a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas. A Geologia de Engenharia depara-se hoje com os desafios dos problemas ambientais, cujas reflexões apontam o homem como o mais novo e intenso agente geológico.

A ação modificadora do homem sobre o meio ambiente, durante sua evolução biológica desde o mais antigo hominídeo até o atual *Homo sapiens*, portanto por vários milhões de anos, não era diferente das ações biológicas em geral. Entretanto, sua ação modificadora passou a ser diferente da dos demais seres vivos quando

deixou de ser caçador de alimentos para produzi-los, faz pouco mais de 10 mil anos. Desde então passou conscientemente a transformar a natureza para seu próprio proveito, convertendo-se em um agente geológico diferenciado. Destarte a transformação do meio físico é essencialmente produto do homem ao mesmo tempo que evolução cultural.

Stepanian *apud* Oliveira (1996), baseando-se na percepção do procedimento do homem como agente geológico, propôs que o Holoceno, portanto a partir de 10 mil anos atrás, seja considerado uma época de transição do período Quaternário para o Quinário, tendo como primeira época o Tecnógeno em alusão a tecnologia como fundamento da transformação do meio físico.

Assim, este quarto estágio da Geologia de Engenharia no Brasil caracteriza-se pelo rumo a um enfoque geotecnogênico (que considera o homem como agente geológico) que, além de incorporar o empírico, o geológico e o geotécnico, passa a incorporar a compreensão do papel do homem como agente geológico na transformação do meio ambiente. Para efeito de estudos podemos compartimentar o meio ambiente em meio físico ou abiótico, meio biológico ou biótico (fauna e flora) e meio sócio-econômico (equipamentos urbanos, áreas públicas, densidade populacional, tipos de ocupação etc).

O meio físico compreende os materiais terrestres (materiais inconsolidados, rochas, água, relevo, ar) e os tipos de energia (gravitacional, solar etc.), bem como suas modificações resultantes da ação biológica e humana. Ele é o escopo da geologia. Por outro lado, as ações de avaliações de impactos ambientais e possíveis riscos, de implantação de obras civis, de planejamento territorial e de exploração de recursos naturais, têm os componentes do meio físico como base. Dessa arte, é fundamental o conhecimento prévio de suas características.

Nos últimos anos, a Geologia vem colaborando no desenvolvimento de importantes instrumentos de gestão ambiental como os mapas de Geologia de Engenharia, em especial as cartas geotécnicas, as análises de risco geológico e os estudos de impacto ambiental (OLIVEIRA, 1995).

As cartas geotécnicas evidenciam as características de interesse do meio físico em função do uso destinado. Aplicadas a áreas urbanas, auxiliam as ações de planejamento correspondentes a planos diretores, código de obras, etc. (NAKASAWA *et al. apud* OLIVEIRA, 1995 ).

As cartas de risco geológico, forma de expressão das análises de risco geológico, são desenvolvidas em função da probabilidade e intensidade esperada da ocorrência de certos fenômenos e os efeitos resultantes de suas manifestações, em termos de prejuízos sociais ou econômicos (CERRI *et al. apud* OLIVEIRA, 1996).

Nos estudos de impacto ambiental a geologia atua de modo interdisciplinar, buscando atenuar os efeitos indesejáveis da implantação de obras, manifestados por importantes alterações nos processos do meio físico, tais como erosão, deslizamentos, subsidência, etc. (FORNASARI FILHO *et al. apud* OLIVEIRA, 1996).

Estes três instrumentos de gestão ambiental têm em comum o potencial da Geologia de Engenharia em prever com antecipação os fenômenos geológicos a serem evitados ou mitigados, mediante as adequações necessárias dos planos e projetos aos fatores geológicos condicionantes (OLIVEIRA, 1996).

Segundo Nakasawa (1995), as informações normalmente contidas em mapas geológicos, tais como, litologia, estratigrafia, estruturas e evolução geológica, não atendem os anseios de usuários que necessitam de subsídios para implantação da absoluta maioria de formas de uso do solo. Ademais, para o entendimento da dinâmica ambiental e sua gestão, os mapas geológicos têm que ser submetidos à análise e interpretação por geólogos especialistas.

Estas dificuldades, em parte, são explicadas pelos seguintes fatores: a finalidade histórica dos mapas geológicos que sempre constituíram a base para a pesquisa mineral; a linguagem extremamente hermética; e por fim, a falta de informações sobre os materiais de cobertura (manto de intemperismo, regolito) que nos países tropicais constituem o suporte da quase totalidade das diversas formas de uso do solo. No campo da Geologia de Engenharia foi criada a Cartografia Geotécnica como um instrumento que apresenta subsídios objetivos para outras aplicações, a partir de dados geológicos, contendo informações relativas à geomorfologia, edafologia, propriedades físico-mecânicas dos solos etc.

Zuquette (1993), menciona que desde o começo do século algumas regiões já se preocupavam com o conhecimento do meio físico sobre os quais se assentavam. Daí a preocupação com a cooperação entre geólogos e engenheiros para que informações geológico-geotécnicas fossem levantadas para sua utilização nos projetos de desenvolvimento.

Como exemplos citam-se:

- a ) em 1902 a publicação pelo U.S.G.S do relato geológico, com finalidade de geologia urbana, da cidade de Nova Iorque;
- b ) em 1905 a continuidade dos estudos resultou na publicação do trabalho intitulado "A configuração da superfície do substrato rochoso de Nova Iorque", baseado em 1400 sondagens;
- c ) em 1914 artigo de Worcester sobre "Fundações em Boston" publicado pelo jornal da Sociedade de Engenheiros Civis de Boston;
- d ) em 1929 na cidade de Praga, Kodyn e Matjka elaboram o primeiro mapa das condições geológico-geotécnicas como subsídio para o desenvolvimento, face as condições geológicas complexas que o condicionavam;
- e) no ano de 1934 em Nova Orleans é feita uma recompilação de dados sobre fundações;
- f) no ano de 1937 em Winnipeg ( Canadá ), instalação de uma comissão, pelo Instituto de Engenharia, para investigar as dificuldades nas fundações, métodos para reparação de construções defeituosas e projetos mais adequados para fundações de novas estruturas.

A representação gráfica dos componentes do meio físico teve seu início em 1913, quando Langen, em uma feira de construção de Leipzig (Alemanha), apresentou documentos gráficos úteis na orientação das construções nas cidades de Erfurt, Danzig, Frankfurt sur Oder e outras cidades alemãs. Através de técnicas visando melhorar o conteúdo e a representação gráfica, diversos procedimentos utilizados em vários trabalhos contribuíram para o desenvolvimento do mapeamento geotécnico, entre os quais (ZUQUETTE, 1993):

- a) em 1919 o método de Moldenhawer, base das técnicas modernas, baseou-se na conversão da carta geológica de Danzig em uma carta geotécnica, mediante a divisão dos terrenos em função da profundidade e apresentação dos resultados em um mapa de locação de sondagens e outro geotécnico propriamente dito. O autor continuou a sua atualização até 1926;
- b) em 1932 o método Stremme-Ostendorff, obedecendo ao esquema de Moldenhawer, consistiu na publicação, por Stremme, de um conjunto de cartas produzidas por Ostendorff tratando de geologia e geotecnia. As geológicas referiam-se aos problemas relativos a materiais de construção, água e condições dos terrenos, e as geotécnicas indicavam as taxas de trabalho admissíveis e as possibilidades de escorregamentos;
- c) em 1938 o método de Muller, usou cores e sinais para diferenciar as unidades, suas características e seus componentes, na publicação de um mapa geológico, uma carta de terrenos com sua adequabilidade à construção e uma carta de planificação;

- d) em 1951 o método de Groschopf utilizava cores e letras para representar os materiais aflorantes e o substrato rochoso, respectivamente, no mapa geológico da região do Ulm, além de uma carta indicando as diferentes taxas de trabalho do solo e outra com as velocidades de recalque;
- e) em 1951 a classificação de Benz subdividia as áreas em zonas, usando os princípios dos ensaios de mecânica dos solos e caracterização das camadas em função da sua capacidade de suporte para construção;
- f) em 1956 o método de Gwinner marca a mudança das cartas comuns para as cartas geotécnicas. Apoiando-se na proposta de Terzaghi de interação das propriedades físicas e comportamento mecânico dos solos com as condições geológicas, foi o primeiro a utilizar o conceitos de unidades geotécnicas. Expressava em zonas as diferenças entre as unidades geotécnicas: zona de fundações diretas e sem recalques, zonas com a consistência e compacidade aumentando com a profundidade etc. A relação entre os dados físicos e geológicos tornaram-se úteis aos engenheiros;
- g) em 1956, proposto por Wawser, Rieger e Hille da Escola de Minas de Freiberg, o método do “Cadran” (quadrante) utilizava as divisões dos quadrantes do relógio para representar as variações de espessura, profundidade do nível d’água e outras características dos componentes do meio físico.

Ainda segundo Zuquette (1993), diversos países contribuíram para o desenvolvimento da cartografia geotécnica:

- a) a Ex-Tchecoslováquia, através dos trabalhos de Matula, Pasek, Rybar, Zebera e Zaruba, é o país que mais se destaca na contribuição ao desenvolvimento da cartografia geotécnica. O trabalho de mapeamento iniciado por Zebera (1947) foi o pioneiro na reprodução da terceira dimensão usando o sistema de banda larga para representação dos materiais em profundidade. As modificações feitas por Pasek, Rybar e os melhoramentos de Simek ao trabalho de Zebera, são muito empregados na Ex-Tchecoslováquia com modificações nas formas de representação. A Comissão de Geotecnia da antiga COMECON (Comunidade Econômica dos Países do Leste Europeu), aprovou um mapa geotécnico de finalidade geral compilado por Matula e Pasek (1966), o qual foi muito utilizado como fundamento para trabalhos realizados em outros países membros;
- b) na Polônia o desenvolvimento da cartografia geotécnica acentuou-se após o segundo conflito mundial, em consequência do desenvolvimento industrial e necessidade de ocupação regional. O mapa geotécnico geral, em pequena escala, compilado por Malinowski (1957) foi o ponto de partida para trabalhos mais detalhados, que basearam-se em trabalho posterior de Malinowski realizado em 1968. Outros autores como Slochlak, Lozinska e Stepień, também contribuíram realizando mapeamentos em grande escala para sítios especiais;
- c) na Ex-URSS as linhas básicas para realização do mapeamento geotécnico foram definidas por Sergeev, Popov e outros em trabalhos realizados desde 1930. O ponto de partida para todo o desenvolvimento foi o trabalho de Popov et al. (1950) intitulado “Técnicas de compilação de mapas de Geologia de Engenharia”, no qual se embasaram Golodkovskaya et al (1968), Ter Stepanian (1970) e outros para realização de seus trabalhos. Ele fundamenta-se no princípio de que materiais oriundos das mesmas condições paleogeográficas, tectônicas e com idêntica evolução geológica, possuem propriedades e características geotécnicas similares;
- d) na Iugoslávia os mapas geotécnicos foram desenvolvidos devido a necessidade de reconstrução do país após o segundo conflito mundial. Assim, em 1955, um conjunto de cartas foram elaboradas em função dos projetos de hidrelétricas. No período de 1956 a 1962 muitos mapas foram realizados nas escalas de 1: 25.000 e 1: 50.000. A partir de 1966 foram adotadas as instruções da COMECON (1966), com as cartas geotécnicas

baseando-se na geologia, geomorfologia, hidrogeologia, sismologia, documentação geotécnica existente e no reconhecimento de campo. Os trabalhos de Janjic (1971) e Stepanovic revelam a importância do mapeamento geotécnico no planejamento territorial;

e) na Bulgária o pioneiro nos trabalhos de mapeamento geotécnico foi Lazar (1961). O país possui um mapa geotécnico geral na escala 1: 500.000 realizado por acadêmicos do “Strasimir Dimitrov”;

f) na Hungria, mapas de solos para construções foram elaborados em Budapeste e outras cidades a partir de 1957. Em 1964 outros trabalhos foram iniciados com diversas finalidades. A partir de 1966, mapas geotécnicos com finalidades diversas, foram realizados com base nas instruções da COMECON ( 1966 ) por Karacsonyi e Falu (1974), Kleb (1979) e outros;

g) na Ex-RDA ( República Democrática Alemã ) os trabalhos mais divulgados são os de Bachman e Renter (1962) e Handel (1962), Bachman, Marquardt e Renter ( 1962 ) e Bachman e Renter ( 1968 ) em escalas de 1: 5.000, 1: 25.000 e 1: 50.000 respectivamente. A partir de 1966 seus mapas são baseados nas instruções da COMECON (1966);

h) na França os primeiros estudos foram realizados pelo B.R.G.M (Bureau de Recherche Géologique et Minière), L. C. P. C. (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), centros universitários e alguns particulares. As primeiras cartas foram destinadas aos planos de ordenamento do uso e ocupação do solo. Em 1967, o uso do meio físico passou a ser regulado pela Lei de Orientação às construções, resultando na criação de órgão para orientação do ordenamento do território e extensões das aglomerações urbanas, os S.D.A.U (Schémas Directeurs d'Aménagement d'Urbanisme), bem como os P.O.S. (Plan d'Occupation de Sols) para fixação das regras gerais e as possibilidades de construção. Assim, os projetos são sempre analisados pelo S.D.A.U. e os P.O.S., responsáveis pela sua aplicação, revelando uma preocupação com todos os níveis do processo de ocupação na França. Em 1972, Sanejouand publicou “A Cartografia Geotécnica na França”, após análise de uma série de trabalhos, que constitui a metodologia francesa de mapeamento geotécnico;

i) nos Estados Unidos os mapas geotécnicos foram iniciados em 1960. Entretanto, não possui uma metodologia padrão para emprego em planejamento ou outros fins específicos. Os mapas geotécnicos são derivados dos mapas geológicos convencionais, voltados para fatores de interesse. A partir destes mapas de fatores são elaborados os de aptidão. Tabelas com as características geotécnicas das formações (textos tabulares) são confeccionadas, sendo comum a realização de seções cruzadas associadas a uma ou mais tabelas. Mathewson e Font, 1974 (apud Souza, 1992) apresentaram uma sistemática consistindo de quatro fases hierárquicas para o conjunto de mapas necessários para o zoneamento de uma região;

j) na Austrália a interação geologia e engenharia tiveram início em fins da década de 1950. O trabalho de Grant (1965) impulsionou o uso de informações geotécnicas para o planejamento territorial, culminando com o sistema P.U.C.E. (Pattern, Unit, Component, Evaluation), baseado em princípios geomórficos associados a informações sobre os solos. Neste sistema os terrenos são divididos em categorias: Província, Padrão, Unidade e Componente. Os atributos, também em 3 categorias que definem o interesse para estudos de viabilidade, planejamento e construções (Souza, 1992);

l) na Inglaterra o fato de o país possuir mapa geológico na escala 1: 10.500 de quase todo o território nacional facilitam a realização dos mapas geotécnicos. Os trabalhos pioneiros foram realizados por Basley (1971), em Belfast, e por Cratchley e Denness (1972), em Milton Keynes, resultando na tabela de características geotécnicas como parte mais interessante. Dearman, Fokes, 1974 (apud Souza, op. cit.) desenvolveram trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados a problemas de engenharia civil;

m) no Brasil o Relatório Belcher do Plano Diretor do Distrito Federal (1954), elaborado por Donald J. Belcher Associates & Incorporated, foi o marco inicial dos trabalhos de mapeamento geotécnico no Brasil (Moreira, 1996). Nos anos de 1965 e 1966, o professor Haberlehner iniciou na Universidade do Rio de Janeiro estudos geológicos objetivando orientar a ocupação naquela cidade. A partir de então outros trabalhos foram desenvolvidos ganhando maior intensidade após 1988. Zuquette (1993) relaciona 108 trabalhos desenvolvidos e 5 em desenvolvimento no intervalo de 1966-1993, correspondendo a uma média de 4 trabalhos desenvolvidos/ano. Destes, 59 são identificados no Estado de São Paulo, 9 no Rio de Janeiro, 6 no Rio Grande do Sul, 3 em Minas Gerais, 3 no Mato Grosso, 2 em Santa Catarina, 2 em Pernambuco, 1 no Mato Grosso do Sul, 1 em Alagoas. Estes trabalhos foram realizados em escalas desde 1: 400 até 1:250.000 abordando aspectos e critérios Geológico-Estrutural, Geológico-Geotécnicos, Fisiográficos, Metodológicos, Geológico-Pedológico, Geológico-Geomorfológico, Fisiográficos, Meio Físico, Geológico-Geotécnico-Geomorfológico-Estrutural, Geológico-Geomorfológico-Geotécnico, Geológico-Geomorfológico-Pedológico etc., objetivando orientação da ocupação, planejamento, escorregamentos, instabilidade e estabilidade de encostas, planejamento territorial e urbano, desenvolvimento urbano e regional, barragens, caracterização geotécnica, escorregamentos, questões ambientais, uso e ocupação, movimentos de massa, assoreamentos- enchentes-escorregamento-erosão, impacto ambiental, metodologia, expansão urbana, planos diretores etc.

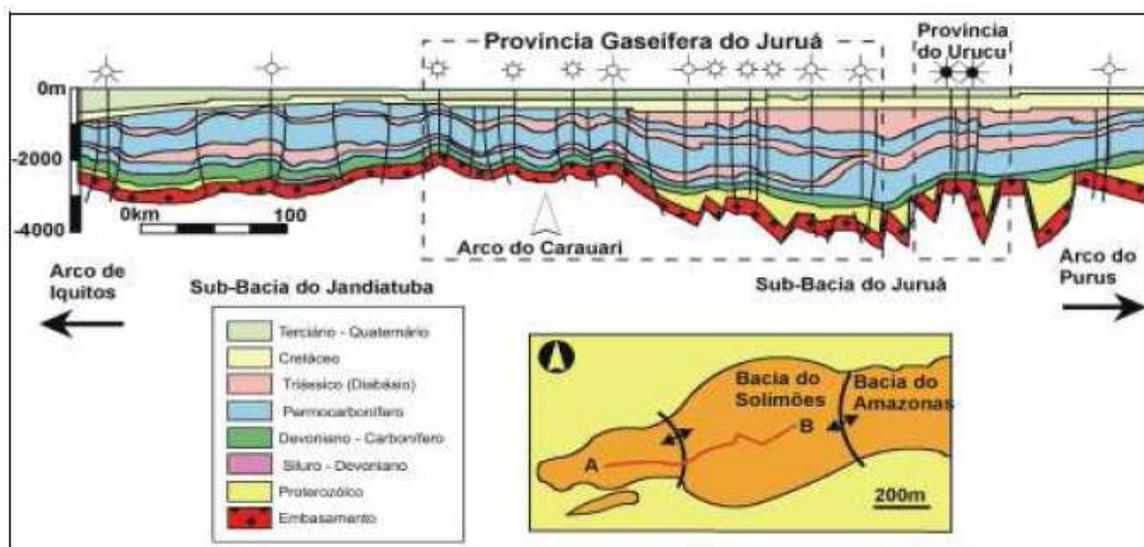
## 2.2 Aspectos Gerais sobre a Geologia Local

Os estudos geológicos tiveram como objetivo a aquisição de informações das estruturas geológicas a nível regional e do reconhecimento das sequências sedimentares na condição local, subsidiando os estudos geotécnicos do Feed de Acesso Terrestre e da Estação de Compressão de Juaruna. A partir dos dados geológicos levantados na pesquisa bibliográfica e do mapeamento geológico de detalhe, resultaram as indicações de litologia e estruturas geológicas da área de estudo, bem como, a presença de terrenos alagadiços e suas principais características.

A região de estudo situa-se no centro do estado do Amazonas, as margens do rio Urucu e está inserida na Bacia do Solimões. De acordo com a CPRM (2005), a Bacia do Solimões constitui uma bacia intracratônica predominantemente sedimentar que recobre grande parte do estado do Amazonas.

Encontra-se limitada a oeste pelo Arco Iquitos que a separa da Bacia do Acre e a leste pelo Arco Purus que a separa da Bacia do Amazonas. No seu interior encontra-se dividida em duas sub-bacias, Jandiatuba e Juruá, controladas pelo Arco Caruari. Ainda, de acordo com a CPRM (2005) a Sub-bacia Juruá e Jandiatuba, respectivamente, podendo ser dividida em duas sequências de primeira ordem:

1ª – Paleozóica, seccionada por diques e soleiras de diabásio;  
 2ª – Meso-cenozóica, com rochas geradoras, reservatório e selante. Estas rochas encontram-se sobrepostas pelas extensas sucessões Cretáceas e terció-quaternárias que predominam em superfície. (Figura 2.1).



**Figura 2.1:** Sequência estratigráfica da Bacia Solimões (CPRM, 2005).

As sucessões terció-quaternárias da região de estudo foram definidas por Maia *et al.* (1977), sendo descritas a seguir:

**Formação Içá** – Sucessões sedimentares com dezenas de metros de profundidade que reúne arenitos amarelo-avermelhados, finos a conglomeráticos, friáveis, com siltitos subordinados e argilitos de características eminentemente continentais e depositados sob condições fluviais de elevada energia e clima árido. De acordo com Maia (op. cit.), a seção inferior da formação é constituída por siltitos e/ou argilitos maciços a finamente laminados, lenticulares, intercalados com arenitos estratificados.

**Terraços Fluviais** – Os terraços fluviais correspondem a amplos depósitos sedimentares constituídos por argila, areia e cascalho, via-de-regra, inconsolidados a semi-consolidados e com dezenas de metros de espessura. Os sedimentos revelam diferentes ciclos de erosão e deposição ao longo do tempo geológico. Ocupam, no âmbito da bacia intracratônica Solimões, locais específicos nas bordas da planície de inundação, sempre em contato com os depósitos de Aluviões Holocênicos. Normalmente constituem zonas de interflúvios entre a principal drenagem e alguns de seus afluentes, registrando nível topográfico mais elevado do que aquele das planícies aluvionares. A idade desses depósitos corresponde ao período Neógeno, possivelmente Pleistoceno Superior, recobrendo em descontinuidade os sedimentos Miocênicos a Pliocênicos da Formação Solimões.

Juruá a leste do arco encontra-se melhor conhecida em função da intensa pesquisa de petróleo desenvolvida pela Petrobras a partir de 1978 e onde se situam as províncias gaseíferas Juruá e Urucu, enquanto que a Sub-bacia Jandiatuba a oeste encontra-se pouco conhecida devido às restrições legais de regiões dominadas por áreas indígenas e reservas florestais.

De acordo com Eiras (2005), o preenchimento da Bacia do Solimões por rochas sedimentares Fanerozóicas atinge 3.800m e 3.100m de espessura nas sub-bacias.

Depósitos de planícies aluvionares – Os principais rios que integram a Bacia Solimões denotam expressivas áreas de planícies aluvionares, chegando a atingir dezenas de quilômetros de largura e de extensão. Revelam uma morfologia característica de planície sedimentar onde é comum o padrão de canais fluviais meandrantos, lagos de variada conformação e meandros abandonados que registram a migração lateral do curso dos rios. A planície encontra-se representada por sedimentos arenosos a argilosos inconsolidados a semiconsolidados, associando-lhes níveis de cascalho e matéria orgânica. Os depósitos inconsolidados compõem-se predominantemente por areia de composição quartzofeldspática e granulometria variável, normalmente revelando granodecrescência ascendente. Os depósitos semiconsolidados são representados por camadas argilosas, maciças, com subordinados níveis arenosos e de espessura variável. Apresentam estratificações plano-paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas.

Estes depósitos registram quantidades variáveis de troncos, matéria orgânica imatura e níveis de material vegetal (folhas).

### **2.3 Geomorfologia**

Para Radambrasil (1978), a região de estudo está inserida na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental e no domínio morfoclimático dos Planaltos e Depressões Dissecados e Superfícies Pediplanadas.

O relevo da região não apresenta acidentes significativos, porém o suficiente a ponto de permitir uma diferenciação em grandes espaços físicos, ocupados por unidades geomorfológicas distintas, com pequena variação altimétrica e

características e feições próprias, uma vez que se encontra em região bastante plana, com baixas cotas altimétricas.

A unidade geomorfológica da Planície Amazônica apresenta formas de acumulação inundáveis, erosivas e de dissecação, onde as áreas aplainadas com cobertura arenosa, periódica ou permanentemente alagadas, estão geralmente incorporadas de modo precário a rede de drenagem. Ressalta-se, entretanto, que os terraços antigos, incorporados à unidade da planície representam um modelado de erosão com declive voltado para o leito fluvial.

Durante o período das cheias os rios ocupam toda a faixa da planície fluvial e desta forma dificulta o escoamento das águas dos diversos tributários provenientes das regiões dos relevos dissecados de entorno. Este fato faz com que ocorra também a inundação dos terraços. Os rios ao transportarem uma grande carga de material detrítico, depositam os sedimentos construindo sua extensa planície fluvial, sendo ainda auxiliado nessa modelagem pelo processo de evolução dos meandros, o que acelera a formação da planície fluvial, conforme Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Igarapé do Cedro na Super Cheia, (2009).

Quanto aos aspectos relacionados aos processos morfodinâmicos atuais, a principal característica a ser destacada nesta unidade refere-se a muita alta suscetibilidade a alagamentos e inundações, fato que realmente vem ocorrendo a cada estação das cheias na região. No entanto, quando considerado os barrancos que delimitam a calha principal dos rios, a suscetibilidade ao desencadeamento de quedas, movimentos de massa e rompimentos naturais torna-se alta. Este fato é mais evidenciado nas épocas em que o rio encontra-se enchendo, quando as águas atingem as bases destes barrancos, escavando-os e terminando por promover a queda por solapamento dos mesmos.

Estas quedas concentram-se nos locais onde os taludes dos barrancos são mais íngremes e desprotegidos por vegetação, tornando-se mais rara nos locais onde os taludes são suaves e recobertos por vegetação rasteira (Figura 2.3).



**Figura 2.3:** Barranco as margens do rio Urucu com solo escavado devido à ação das águas do rio..

## 2.4 Geologia Local

No mapeamento geológico local foram identificadas in loco, através da visualização de afloramentos e cortes efetuados na área do Acesso Terrestre à ECOMP, e também, por meio da análise das sondagens executadas, as camadas de solos que compõem a seqüência estratigráfica da área de estudo. Este mapeamento permitiu a composição de um mapa geológico da área de estudo (em anexo) e a caracterização física a seguir descrita:

Há – Aluviões atuais: na área mapeada estes depósitos podem ser visualizados nas margens do rio Urucu e ao longo do Igarapé do Cedro, formando vales abertos e planícies de inundação. São depósitos de acreção vertical ou de transbordamento e bacias laterais de inundação que consistem de deposições periódicas de sedimentos efetuadas pelos rios nas épocas das enchentes nas planícies fluviais. Morfologicamente esta é uma área inundável nos períodos de cheia, apresentando características marcantes, como barras sucessivamente estabelecidas e abandonadas, relevo plano típico de planície de acumulação, presença de lagos e canais abandonados.

Compõem-se de argilas, siltes e areias predominantemente finas com granulação geralmente decrescente da base para o topo e cascalhos subordinados ao longo da seqüência, coloração cinza-esbranquiçada a cinza-escura com freqüente mosqueamento vermelho. Lâminas limoníticas são visualizadas em corpos d'água pouco profundos e com sedimentos inconsolidados de planície fluvial (Figura 2.4).



**Figura 2.4:** Igarapé do Cedro, transbordamento e consequente ocupação da planície de inundação.

Hai – Aluviões indiferenciados ou antigos: depositados às margens do rio Urucu e do Igarapé do Cedro, ocupam o leito maior sazonal e são representados por sedimentos trazidos pelo rio e pelo igarapé. O Igarapé do Cedro caracteriza-se por uma extensa área que se encontra temporariamente alagada, formando depósitos de planícies de inundação. Estes depósitos sedimentares de planícies de inundação são constituídos por sedimentos siltico-argilosos e areias de granulação geralmente fina (Figura 2.5).



**Figura 2.5:** Igarapé do Cedro, planície de inundação na área da passarela que se encontra temporariamente alagada (Andrade 2009).

Na área de estudo, o canal principal do Igarapé pode mudar de posição de acordo com a carga sedimentar, formando depósitos de acreção lateral, onde a margem côncava transforma-se em zona de degradação, seguida da deposição dos sedimentos nas margens convexas, formando as barras em pontal, ou dando origem às barras de canal transversais e longitudinais. Estas modificações são decorrentes de um processo típico em corpos d'água meandantes, com a formação de depressões, fazendo com que ocorram acréscimos laterais de carga de fundo, principalmente nas porções mais retilíneas do igarapé. A litologia observada nestes depósitos aluvionares é composta por argilas, siltes e areias muito finas a grossas com diminuição granulométrica para o topo, onde predominam areias finas. Ocorrem intercalações de solos siltosos e argilosos, de coloração clara a marrom-escuros com tonalidades amareladas e avermelhadas.

TH – Terraço Holocênicos: ocupam as áreas de superfícies topograficamente mais elevadas que as áreas ocupadas por aluviões indiferenciados ou antigos. Na área mapeada constituem parte do Acesso Terrestre e da ECOMP. São depósitos de barra em pontal e canal, com sedimentos argilosos e arenosos de granulação predominantemente fina e freqüentes intercalações de camadas ou lentes de material siltoso. A matriz é argilosa de cores variegadas, vermelho, amarelo e marrom. Possuem estratificações plano-paralelas horizontais e estratificações cruzada tabular e acanalada, intercalados ou interdigitados com argilitos e siltitos.

No início do Acesso Terrestre, logo acima da margem do rio Urucu, observa-se uma área formada por depósito sedimentar de inundação, constituído por sedimentos argiloarenosos (Figura 2.6).



**Figura 2.6:** Área em corte mostrando depósito formado pela ação fluvial do rio Urucu.

Os sedimentos argilosos encontram-se nas partes superiores das seções mapeadas, formando camadas de solos de muito baixa consistência, sobrepostos a lentes de areia e silte inconsolidados e soltos em contato gradacional (Figuras 2.7 e 2.8).



**Figura 2.7:** Terraço em corte no acesso existente próximo a chegada do rio Urucu, junto ao eixo de Acesso Terrestre projetado, expondo solos argilo-arenosos.



**Figura 2.9:** Terraço em corte no acesso existente próximo a chegada da ECOMP, expondo solos argilo-arenosos (Andrade 2009).

## 2.5 Análises Geotécnicas

Considerando-se as características litológicas e morfodinâmicas verificadas no mapeamento geológico local, em conjunto com a análise bibliográfica, pode-se destacar os seguintes aspectos:

- O embasamento rochoso encontra-se a profundidades de centenas de metros, não podendo ser avaliado na área da ECOMP e na região de estudo, descartando-se este como base para quaisquer tipos de fundações;
- As camadas de solos encontradas ao longo do Acesso Terrestre e na área da ECOMP são provenientes da deposição de sedimentos fluviais pouco antigos a recentes, formando depósitos de solos inconsolidados de baixa consistência e compactidade e extremamente profundos;
- Os solos aluvionares atuais localizados nas baixada que forma a várzea do Igarapé do Cedro serão atravessados pela via de acesso terrestre.

Os solos com níveis argilosos não permitem boas taxas de infiltração, possuem baixa suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos quando protegidos pela vegetação, principalmente em decorrência do relevo plano existente na área de estudo, associado ainda à proximidade topográfica das áreas mais elevadas com o nível de base local, representado pelo rio Urucu, coletor da drenagem da área de estudo; - A área de estudo é de difícil acesso devido a mata e ao terreno alagadiço formado pela extensa planície fluvial que dificulta o escoamento das águas superficiais.

## 2.6 Estudos Geotécnicos

Os estudos geotécnicos constam de investigações geotécnicas de campo e na análise e interpretação dos resultados obtidos, visando à definição de soluções e metodologias executivas para a implantação das obras do Acesso Terrestre e da

área da ECOMP. Estas investigações permitiram a avaliação geomecânica dos estratos de solos sondados, bem como, a definição dos parâmetros geotécnicos adotados nas análises efetuadas.

### 2.6.1 Investigações Geotécnicas

As investigações geotécnicas constaram primeiramente de um reconhecimento tátilvisual das litologias aflorantes ao longo do Acesso Terrestre e na área da ECOMP. Balizado pelo levantamento topográfico efetuado, foram executadas as sondagens percussivas e a trado na área de estudo, de acordo com as Normas da ABNT-6484, 6502, 8036 e 9603 e Petrobras N-845, apresentadas na Tabela 1:

**Tabela 2.1:** Sondagens do Acesso Terrestre

TABELA DE SONDAgens						
Localização	Nº de Ordem	ID da Sondagem	Coordenadas		Cota da Boca (m)	Prof. Sondada (m)
			N	E		
Acesso Terrestre	54	SP-01A	9516207.42	372165.97	48.88	15.00
	55	SP-02A	9516199.38	372168.01	44.16	15.00
	56	SP-03A	9516190.60	372168.88	36.45	10.00
	57	SP-04A	9516190.53	372168.80	37.21	15.00
	58	SP-05A	9516110.75	372217.49	53.96	15.00
	59	SP-06A	9516057.38	372227.82	58.85	15.00
	60	SP-07A	9516006.39	372052.33	56.73	15.00
	61	SP-08A	9516491.29	372728.54	37.43	15.00

O critério de paralisação adotado para as sondagens a percussão, na inexistência de um estrato de maior capacidade de suporte em profundidades maiores que 24 metros foi estabelecido para cerca de 15 metros, pois as camadas de solos inconsolidados também se alternam a grandes profundidades, conforme descrito nos estudos geológicos.

Os resultados das Sondagens a Percussão e os Boletins de Sondagem a Trado encontram-se nos anexos de sondagens.

## 2.7 Resultados Obtidos nas Sondagens

Com base nos resultados das sondagens executadas foram elaborados nove seções geológico-geotécnicas distribuídos dentro da área da ECOMP, de modo a investigar as litologias presentes em subsuperfície e onde ficarão assentes as estruturas da ECOMP. Também, foi elaborado uma seção geológico-geotécnica abrangendo o Acesso Terrestre à ECOMP.

As seções e as plantas de locações das sondagens são apresentadas nos desenhos em anexo, onde se encontram representados os parâmetros geológico-geotécnicos obtidos nas sondagens.

Com relação à amostragem, tanto nas sondagens a trado como nas sondagens a percussão, foi coletada uma pequena fração das amostras das camadas representativas de cada litologia atravessada para a caracterização tátil-visual, sendo descritas nas seções desenhadas.

Indicam-se ensaios complementares de Palheta (Vane test), Piezocone e Prova de carga direta e sobre estacas para melhor conhecimento do terreno de fundação em fase complementar de projeto.

## 2.8 Acesso Terrestre

O acesso terrestre visa à ligação do futuro píer do rio Urucu a Estação de Compressão de Juaruna, com extensão de 1.235 metros. O eixo do acesso projetado acompanha a diretriz do acesso existente, com pequenos deslocamentos laterais (Figuras 2.10 e 2.11).



**Figura 2.10:** Vista de parte de um trecho do acesso existente.



**Figura 2.11:** Vista de parte de um trecho do acesso existente.

Ao longo do eixo do acesso existente, e procurando sempre situar-se dentro deste eixo, foram executadas 8 Sondagens a Percussão, espaçadas em cerca de 170m entre sondagens, sendo 7 sondagens com 15m e uma sondagem com 20m de profundidade.

As sondagens permitiram a elaboração de um perfil geológico-geotécnico do subleito sondado que se encontra nos anexos de desenhos. O perfil geológico-geotécnico foi elaborado levando-se em conta a textura dos estratos de solos atravessados, avaliados tátil-visualmente e a compactidade e/ou consistência obtidos através do índice de resistência de penetração do amostrador tipo Raymond Terzaghi.

O perfil mostra em toda a sua extensão uma sucessão alternada de camadas de solos argilosos e arenosos com variações granulométricas para silte-areia, argila-areia e areia-argila no substrato sondado, com predomínio de solos mais finos ou argilosos na camada superficial e solos granulares ou arenosos na base do perfil sondado.

As camadas de solos ao longo do eixo possuem, quando na granulometria areia, pouca espessura, variando de 2m a 6m. Extensão lateral alongada e descontínua, em forma de lentes que tomam quase toda a base do perfil sondado, exceção à área do Igarapé do Cedro que se apresenta argilosa. Pequena variação de compactidade em seu perfil sondado, de fofa a pouco compacta, com predomínio

da compactação fofa, o que torna a camada arenosa e sua transição para silte de muito baixa resistência geomecânica.

A camada de solo argiloso predomina ao longo de todo o eixo, com espessura variando de 2m a 15m, tendo suas maiores espessuras na área do Igarapé do Cedro e no terraço localizado no final do acesso projetado. As lentes encontradas entre os estratos arenosos são pouco espessas e descontínuas. Apresentam uma maior variação de consistência em seu perfil sondado, de muito mole à média e extremamente plásticas, com predomínio da camada mole, ou seja, os solos moles predominam ao longo do eixo do acesso existente. Exceção a estes solos de baixa resistência pode ser feita à camada superficial argilo-arenosa localizada no terraço existente no início do acesso junto a ECOMP (Figura 2.12), e quase no final do acesso, também na camada mais superficial do terraço existente próximo às estacas 44 a 54, onde se encontram solos de consistência média, mas, também, altamente plásticos.

O N.A. foi observado entre as sondagens SP-04A a SP-08A, sendo que nas sondagens SP-01A a SP-03A não foi encontrado.



**Figura 2.12:** Solo superficial argilo-arenoso localizado em corte de Terraço Holocênico junto ao acesso da ECOMP.

## 2.9 Área da Estação de Compressão

A área da Estação de Compressão de Juaruna possui 45.980,208 m<sup>2</sup>. Nesta área serão construídas as edificações e o arruamento interno da ECOMP (Figura 2.13).



**Figura 2.13:** Área da ECOMP.

Dentro desta área foram executadas 39 Sondagens a Percussão e 14 Sondagens a Trado, locadas de acordo com a NBR-ABNT 8036 que contempla a programação de sondagens em solos para fundações de edifícios. As sondagens a percussão foram executadas em profundidades de 10m a 25m e as sondagens a trado em profundidades de 1m a 4m.

A partir das sondagens executadas foram elaborados 9 perfis geológico-geotécnicos do subsolo sondado distribuídos por toda a área sondada. Estes perfis encontram-se nos anexos de desenhos. Os perfis geológico-geotécnicos foram elaborados levando-se em conta a textura dos estratos de solos atravessados, avaliados tátil-visualmente e a compactidade e/ou consistência obtidos através do índice de resistência de penetração do amostrador tipo Raymond Terzaghi.

Os perfis apresentam-se bastante homogêneos com relação à espessura e a variação lateral das camadas de solos encontrados nos diferentes perfis traçados. O mesmo acontece com os parâmetros geomecânicos analisados, com pequenas variações litológicas de um perfil em relação a outro. Os perfis mostram uma predominância de solos argilo-arenosos na camada de topo sondada, até cerca de 10m de profundidade, sotopostos a camadas de solos arenoargilosos igualmente espessos na camada de base sondada, cerca de 5m, com lentes menos espessas de solos siltsosos entre estas camadas.

Os solos argilo-arenosos formam camadas contínuas e alongadas em forma de lentes no topo dos perfis. No geral, possuem pouca variação de consistência, de

média a rija com considerável plasticidade, com predomínio de solos de consistência média, o que torna a camada argilo-arenosa e sua transição para os solos siltosos e arenosos de razoável resistência geomecânica. Os solos areno-argilosos intercalam-se em contatos gradacionais com os solos siltosos e arenosos a partir da base dos solos argilo-arenosos. Estas camadas de base mostram menor resistência geomecânica, pois se apresentam em geral pouco compactas. Suas espessuras são muito variáveis com lentes alongadas interceptadas por camadas côncavas de solos siltosos e arenosos.

O N.A. não foi encontrado nas sondagens executadas.

## 2.10 Áreas de Bota-fora

No processo de preparação do Acesso Terrestre poderá haver a necessidade de bota-fora que deverá ocorrer em local pré-estabelecido. O local deverá ter inclinações compatíveis com a natureza do material constituinte, de forma que seja garantida a estabilidade dos aterros e que se evitem deslizamentos e obstruções de mananciais.

O local sugerido localiza-se no lado direito da entrada da ECOMP, em uma faixa de área de vegetação suprimida (Figura 2.14).



**Figura 2.14:** Local sugerido para área de bota-fora.

## 2.11 Materiais Naturais de Construção

Os materiais disponíveis à execução de obras de engenharia na área de estudo, como argila e areia de terraços fluviais não são adequados para o fim a qual se destinam. Somente as areias de aluviões do rio Urucu parecem ser de melhor qualidade, mas, devido às condições ambientais legais, este material não pode ser

explorado na região. Desta maneira, os materiais necessários para as obras da ECOMP terão que vir de fora da região, através do transporte por balsas.

De acordo com a CPRM (op. cit), o estado do Amazonas dispõe de jazidas comerciais de argila, areia, brita e seixo, que poderão ser contatadas para comercialização.

#### *2.11.1 Argila*

Basicamente três tipos de materiais argilosos são conhecidos e utilizados no Amazonas: argilas muito plásticas que encontram-se nas aluviões recentes e que relacionam-se a ambientes de planícies de inundação, sendo amplamente empregadas na indústria da cerâmica vermelha, na produção de telhas, artesanatos e na manufatura de tijolos; argilas pouco plásticas, mosqueadas e arenosas, oriundas de depósitos residuais formados a partir de alteração sobre rochas, responsáveis pela totalidade da produção de tijolos do Pólo Cerâmico Manacapuru – Iranduba; e argilas levemente arenosas oriundas de latossolos e que têm utilização na construção de aterros, no preparo de argamassas e também na produção do cimento portland. A produção oficial desse bem mineral no Estado do Amazonas em 2004 foi de apenas 144.471t, correspondendo a um valor de R\$ 644.531,00 e que representa um valor FOB da ordem de R\$ 4,50/m<sup>3</sup>.

#### *2.11.2 Areia*

A areia é um bem mineral amplamente usado na indústria da construção civil. Sua demanda se faz em maior escala nas sedes municipais, onde é geralmente extraída nos seus arredores, haja vista que seu baixo valor intrínseco não permite que seja transportada a grandes distâncias do local de consumo.

No estado do Amazonas, este bem mineral ocorre de forma abundante, geralmente associada às planícies aluvionares e aluviões recentes dos rios, onde constituem depósitos do tipo “barras de canais” e “dunas subaquosas”. O aproveitamento desses depósitos é verificado nos municípios de Japurá , Japurá-Maraã, Tefé, Coari, Codajás, Anori, Anamã, Novo Airão, Nhamundá, São Sebastião do Uatumã - Itapiranga, Humaitá - Manicoré e São Gabriel da Cachoeira. A

produção em todo o estado do Amazonas, no ano de 2004, foi de 1.644.475 m<sup>3</sup> de areia, com valor de venda atingindo o patamar de R\$ 19.610.023,00, correspondendo a um valor de cerca de R\$ 12,00/m<sup>3</sup>. Hoje, no comércio de Manaus, a areia de granulação média é comercializada a um preço que varia de R\$ 20,00 a R\$ 25,00/m<sup>3</sup>.

### *2.11.3 Brita*

Os pólos produtores e comerciais são a cidade de Manaus, o município de Presidente Figueiredo, o município de Moura e o município de Barcelos. A brita proveniente do município de Presidente Figueiredo chega à Manaus por transporte rodoviário, pela rodovia BR-174 (Manaus – Boa Vista), enquanto que aquela proveniente do município de Moura tem seu acesso por via hidroviária através do rio Negro, em balsas com capacidade de 1.500 a 2.000 toneladas. Parte desse material é trazido a Manaus sob a forma de blocos, onde então é realizada a sua britagem para uma fração de granulometria menor.

### *2.11.4 Seixo*

A totalidade do seixo produzido no estado provém de leitos ativos dos rios, normalmente extraído por meio de dragas. A intensa extração e utilização desse bem mineral é justificada pela grande demanda nas sedes municipais e que inclui Manaus, onde é empregado na concretagem e no setor da construção civil. As atuais frentes de lavra estão localizadas nas seguintes regiões: rio Japurá, abrangendo áreas dos municípios de Japurá e Maraã; e rio Solimões, englobando as áreas dos municípios de Tefé, Coari, Codajás, Anori e Anamã. O seixo, que é constituído principalmente de quartzo leitoso e, secundariamente de sílex, é transportado para Manaus em balsas com capacidade de 1.000 a 2.000 toneladas, sendo vendido no porto dessa cidade a preços que variam de R\$ 50,00 a R\$ 55,00/m<sup>3</sup>. No comércio varejista, os preços praticados variam de R\$ 70,00 a R\$80,00/m<sup>3</sup>.

## 2.12 Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Amazonas, na margem esquerda do rio Negro, a altura da sua confluência com aquele rio, onde até então recebe o nome de Solimões (Figura 2.15), e que se constitui na espinha dorsal da rede de drenagem da região amazônica.



**Figura 2.15:** Confluência do Rio Negro com o Rio Amazonas  
**Fonte:** Sioli, (1991).

O sistema fluvial da região caracteriza-se por ser o mais extenso e de maior massa líquida da Terra, drenando mais de sete (7) milhões de quilômetros quadrados de terras (SIOLI, 1991).

Segundo Sioli (op. cit.), de acordo com a coloração de suas águas, a bacia hidrográfica do Amazonas apresenta rios de água barrenta amarelada, turva (rios de água branca, exemplo do rio Amazonas); rios com águas de coloração esverdeada, transparência cristalina (rios de água clara, exemplo do rio Tapajós) e rios com águas pretas, a exemplo do rio Negro que banha a cidade de Manaus (Figura 2.15). Na sua confluência com o rio Amazonas, as águas pretas do rio Negro se sobrepõem às do Amazonas devido à diferença de temperatura entre suas águas. As do Amazonas permanecem durante o ano em  $29\pm 1^{\circ}\text{C}$  e as do rio Negro em 30 a  $31^{\circ}\text{C}$ .

Os rios de água barrenta têm sua nascente na parte ocidental da bacia, onde áreas desprovidas de cobertura vegetal são erodidas, como sucede nos depósitos de moraina do Valle de La Luna (Figura 2.16), com o conseqüente carreamento do material em suspensão para a região de planície onde alternam-se sedimentação e erosão.

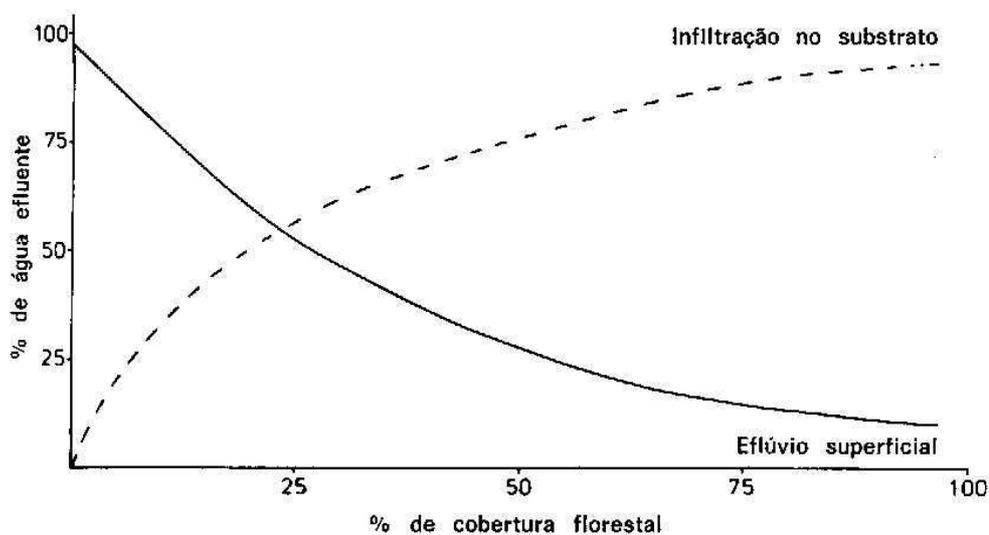


**Figura 2.16:** Erosão em uma zona de depósitos de morainas do período glacial nas nascentes andinas do Amazonas, Valle de La Luna, próxima a La Paz, Bolívia, a cerca de 3.500m de altitude ( SIOLI, 1991).

Com relação aos rios de águas claras, estes têm suas nascentes nos maciços das Guianas e do Brasil Central, de relevo em sua maior parte fortemente aplainado e mais regular. As estações seca e chuvosa que marcam estas regiões fazem com que os rios que aí têm as suas nascentes, transportem material em suspensão durante o período das chuvas, quando então apresentam profundidade limite de visibilidade reduzida. Entretanto estes rios apresentam suas águas com grande transparência no período de estiagem.

Já os rios de água preta, cuja coloração é decorrente da pouca quantidade de material em suspensão, têm suas nascentes na própria bacia amazônica, onde a densa cobertura florestal atua como manto protetor contra a erosão, além do relevo pouco movimentado e certas peculiaridades dos solos. Com relação à cobertura florestal, esta se revela eficaz, uma vez que corresponde a área de cobertura sedimentar pouco consolidada e portanto susceptível a erosão. Por outro lado, com

a infiltração maior do que o escoamento superficial, a água de percolação no interior do solo carrega todas as substâncias solúveis, tornando-os estéreis (Figura 2.17).



**Figura 2.17:** Relação entre a cobertura vegetal e o eflúvio superficial da água de chuva SIOLI, (1991).

### 2.13 Morfologia dos cursos d'água

Morfologicamente, os rios de águas claras e de águas pretas apresentam um curso superior com bancos de areia emergente, no período das águas baixas que, com elevação crescente e desenvolvimento da vegetação, podem constituir ilhas de forma oval ou uniforme. Encontrando os sedimentos inconsolidados da baixada amazônica, o leito destes rios alcançam até 15 km de largura (rio Tapajós), resultando em uma redução de velocidade devido o aumento da secção transversal e a conseqüente deposição do pouco material em suspensão (zona de sedimentação) que transportam no período das chuvas, formando ilhas estreitas, alongadas, de forma diferente daquelas do curso superior (Figura 2.18). A partir desta zona de deposição de materiais, desaparecem as ilhas e forma-se uma superfície contínua de águas que se assemelha a uma baía (ria fluvial) com praias

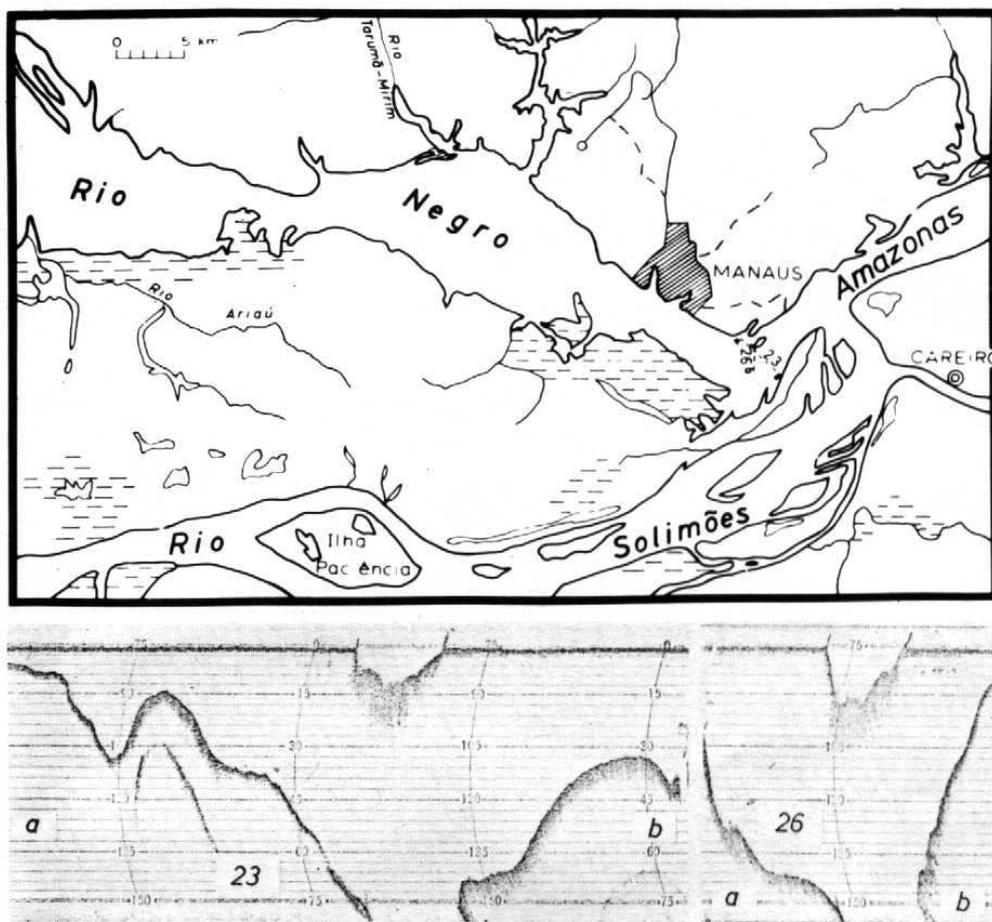
de areias claras e límpidas, cobertas nas enchentes, atrás das quais ergue-se a terra firme coberta de mata.



**Figura 2.18:** Formação de ilhas na zona de sedimentação do rio Tapajós SIOLI, (1991).

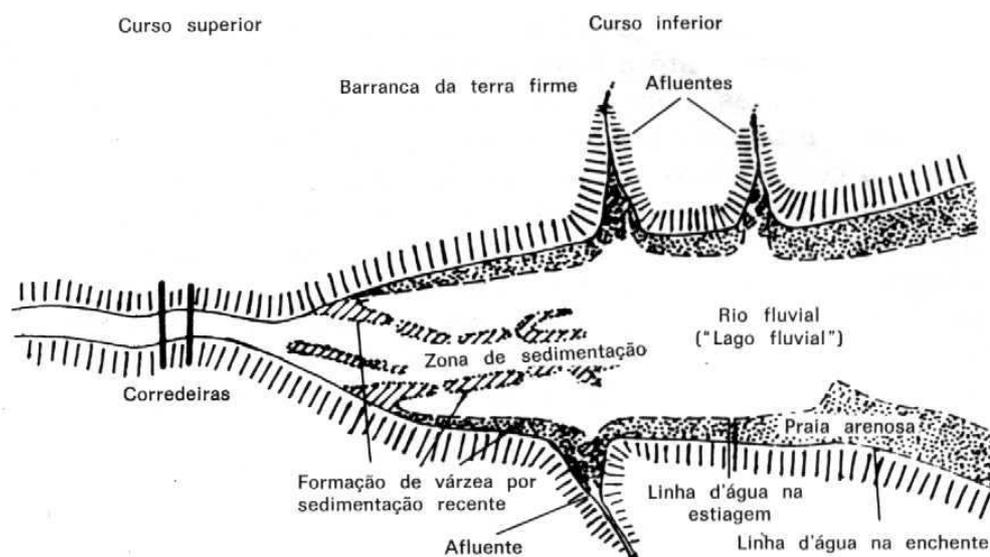
No caso do rio Negro, que banha a cidade de Manaus, a carga de material em suspensão recebida do Rio Branco, seu afluente da margem esquerda, deposita-se na zona de sedimentação constituindo um labirinto de ilhas alongadas (Arquipélago das Anavilhanas). Uma depressão com cerca de 100 metros de profundidade foi detectada em sua ria fluvial, conforme revela o perfil ecobatimétrico (Figura 2.19).

Esta morfologia, que se repete em quase todos os rios do baixo e médio Amazonas, esquematizada na Figura 2.20, foi interpretada por Gourou apud Sioli (op. Cit.), como vales de rios afogados e designadas como rias de água doce, testemunhos dos efeitos da última glaciação. Ela teria sua origem em consequência da escavação de largos e profundos vales nos sedimentos inconcolidados Mesozóico-Cenozóico da região do baixo e médio vale do Amazonas, durante o último período glacial, que baixou o nível do mar cerca de 100 metros. O término deste período, há 10.000 anos, e a consequente elevação progressiva do nível do mar, foi represando as águas dos rios até a região central da Amazônia com o afogamento de seus vales.



**Figura 2.19:** Perfil ecobatimétrico revelando depressão, em forma de canyon, com quase 100 m, no baixo rio Negro SIOLI, (1991).

Por outro lado, enquanto o rio Amazonas, devido a grande carga de material em suspensão nas suas águas, foi capaz de preencher seu vale afogado até a foz e construir sua várzea, os demais rios (de águas claras e de águas pretas), pobres de materiais em suspensão, só conseguiram até agora formar sua zona de sedimentação. O seu prolongamento rio abaixo terminará por preencher as rias, formando suas várzeas semelhantes às do Amazonas.



**Figura 2.20:** Esquema da morfologia dos leitos fluviais de rios de água clara e de água preta da Amazônia Central SIOLI, (1991).

## 2.14 Heterogeneidades geoquímicas

Sioli (1991) mostra que as diferenças de composição química das águas dos grandes rios da Amazônia ( Tabela 2.2), assim como as diferenças na capa catiônica da fração argilosa do material em suspensão, indicam heterogeneidades geoquímicas no interior da bacia.

**Tabela 2.2:** Quimismo de alguns rios da região amazônica procedentes de diferentes zonas geológicas

Composição Química	Rio Amazonas	Rio Tapajós	Rio Maró
pH	6,5 – 6,9	6,4 – 6,65	4,4
CO <sub>2</sub> de carbonatos ácidos em mg/l	8,8 – 17,3	3,1 – 5,2	0
Alcalino-terrosos em meq-g/l	0,23 – 0,45	0,11 – 0,29	0,03 – 0,16

**Fonte:** Sioli, (1991).

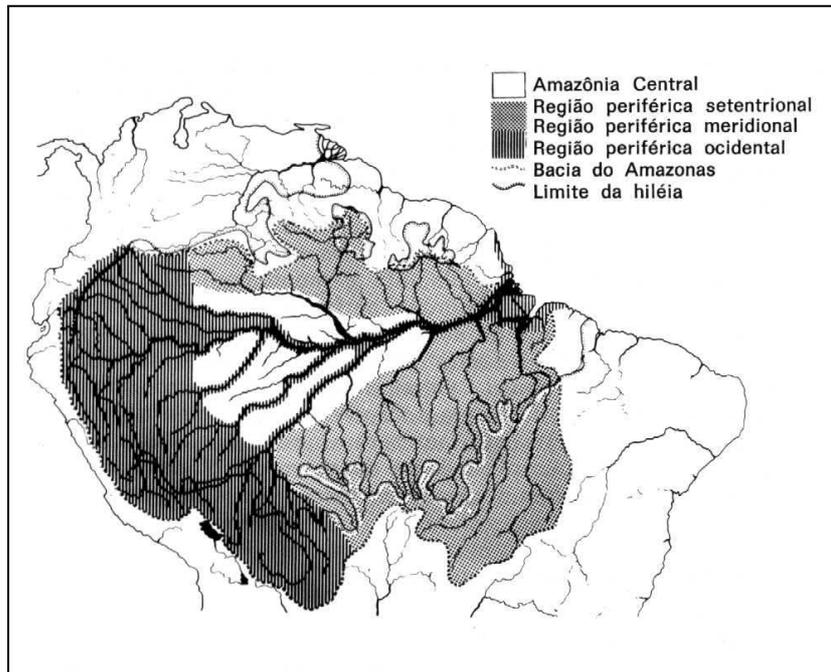
Assim, apesar da diluição ao longo do seu curso, a água do baixo Amazonas, cuja nascente está situada nos Andes, é quimicamente mais rica que a do rio Tapajós que nasce no escudo Brasil Central. Por outro lado, o rio Maró, afluente do Arapiuns, com seu curso inteiramente na região de sedimentos da Formação Alter do Chão, apresenta suas águas com uma pobreza química comparável à água destilada de baixa pureza. A ausência de tampões permite que o CO<sub>2</sub> livre e os ácidos orgânicos dos complexos húmicos, provoquem a redução do pH.

Por outro lado, quantidades diferentes de carga catiônica foram encontradas nos diferentes rios por Irion *apud* Sioli (1991), em consequência dos diferentes minerais de argila presentes nos solos por eles drenados. Assim, nos solos da porção ocidental da bacia do Amazonas (região da encosta dos Andes), os minerais de argila presentes são a illita e montmorillonita, ambos com grande capacidade de absorção. Os sedimentos da Formação Alter do Chão e os solos dos Escudos das Guianas e Brasil Central, por sua vez, apresentam como mineral de argila a caulinita, cuja capacidade de absorção é baixíssima.

Fundamentado nestas características geoquímicas, comprovadas com observações biológicas, Fittkau *apud* Sioli (1991) concebeu a seguinte sub-divisão ecológica da região amazônica (Figura 2.21):

- a) Região periférica ocidental – compreendendo uma zona pré-andina, constituída de produtos de intemperismos recentes da cordilheira dos Andes, a qual constitui a área geoquimicamente mais rica de toda a bacia;
- b) Regiões periféricas setentrional e meridional – abrangendo as áreas dos Escudos das Guianas e Brasil Central, cujos solos já mais antigos e geoquimicamente pobres, resultaram de granitos, gnaisses, ou mesmo de arenitos, por natureza carente geoquimicamente, cobrem o substrato rochoso com camadas espessas;
- c) Região da Amazônia Central – compreendida pelas regiões anteriores, abrange uma área de pobreza geoquímica extrema, cujos solos resultaram de sedimentos proveniente de material pobre em sua origem, nos escudos.

A seguir, foram mais empobrecidos pela lixiviação provocada por clima pluvial, durante o transporte pelos cursos d'água provenientes dos escudos, no longo período de sedimentação desde o pleistoceno.



**Figura 2.21:** Subdivisão ecológica da Amazônia  
**Fonte:** Fittkau *apud* Sioli, (1991).

Desta forma, a região periférica ocidental constitui-se na porção de solos mais férteis da bacia amazônica. As várzeas dos rios de água branca procedentes dos Andes e as do baixo Amazonas, se configuram, portanto, como prolongamentos da região pré-Andina. Análise química dos solos superficiais da Amazônia (Tabela 2.3 e Figura 2.22) realizadas por Irion *apud* Sioli (1991), corroboram as divisões ecológicas propostas por Fittkau.

Em uma bacia hidrográfica em que haja coincidência dos divisores de água superficial e subterrânea, e na qual não haja fluxo de água subterrânea entrando ou saindo para as bacias vizinhas, a equação do balanço hídrico para um período de vários anos de registro pode ser escrita da forma seguinte (TANCREDI, 1996).

$$P = Q + ER, \text{ ou}$$

$$ER = P - Q$$

onde:

P = Precipitação Pluviométrica

Q = Descarga Líquida do rio principal da bacia hidrográfica

ER = Evapotranspiração Real

$P - Q$  = Déficit de Escoamento, que deverá ser igual ao do Evapotranspiração Real.

**Tabela 2.3:** Teor iônico, meq-g/l, da fração pelítica dos solos superficiais da Amazônia.

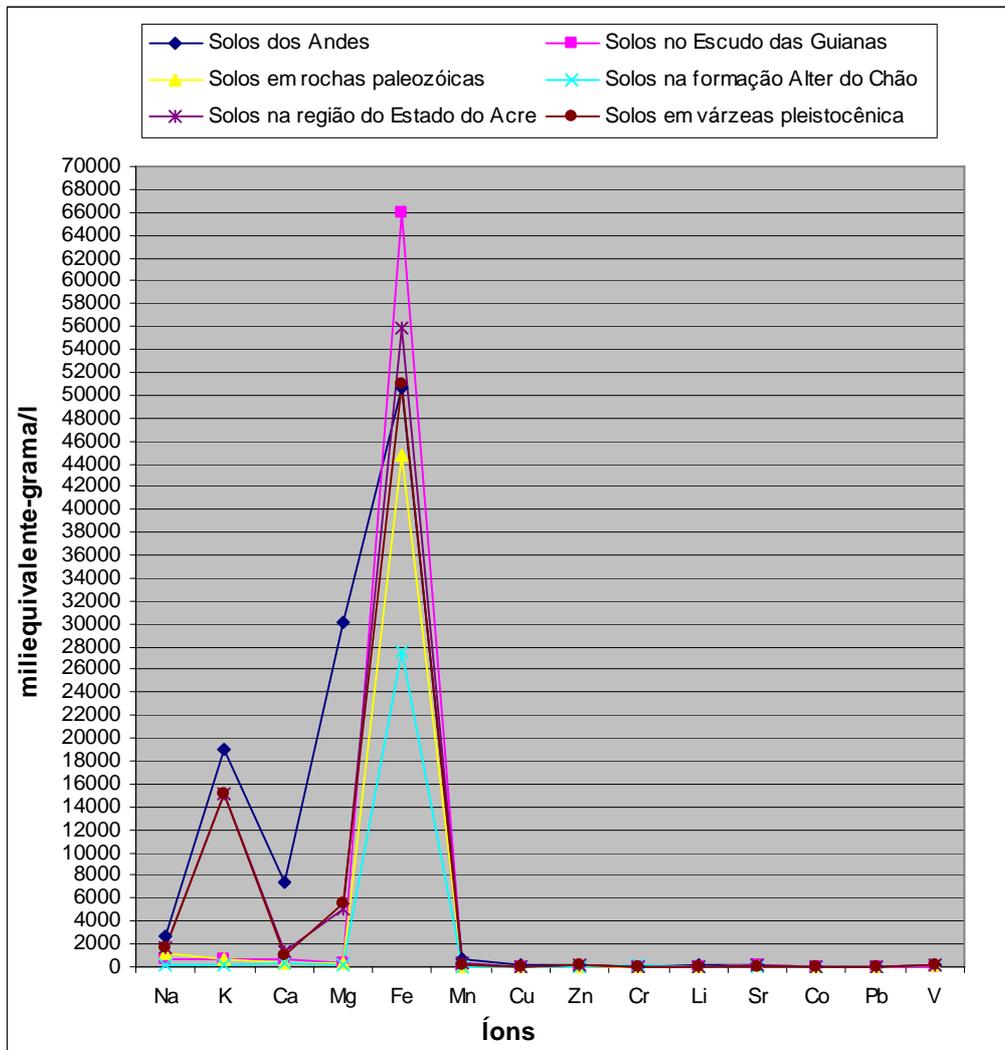
LOCAL	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Li	Sr	Co	Pb	V
Solos dos Andes	2680	19080	7360	30120	50700	630	102	147	76	$\frac{9}{3}$	125	15	23	131
Solos no Escudo das Guianas	600	700	700	280	66000	84	44	50	24	8	90	3	36	24
Solos em rochas paleozóicas	1125	750	375	290	44800	45	27	38	81	8	135	4	35	112
Solos na formação Alter do Chão	160	225	350	100	27600	33	37	27	$\frac{12}{2}$	4	75	15	18	97
Solos na região do Estado do Acre	1630	15100	1300	5000	55800	330	79	126	77	$\frac{5}{3}$	95	5	42	162
Solos em várzea pleistocênica	1650	15200	940	5600	51000	98	54	115	67	$\frac{5}{1}$	80	8	39	139

**Fonte:** Irion *apud* Sioli, (1991 ).

Os valores de evapotranspiração tabular diária, os quais são multiplicados por um fator de correção, variável de acordo com a latitude e o mês, determinando a evapotranspiração potencial mensal, ponto de partida para estabelecimento do equilíbrio entre a água que o solo recebe pela chuva e a água que é lançada na atmosfera por meio de evaporação e da transpiração das plantas. A partir desses dados calculam-se, por diferença entre as precipitações, os valores de armazenamento, deficiência e excesso de água no solo, considerando como início de cálculo o primeiro mês em que a precipitação for superior à evapotranspiração potencial, acarretando valor positivo para a água armazenada.

Mesmo para os meses em que há maior evapotranspiração, o armazenamento não cessa imediatamente, havendo sempre um efeito residual do mês anterior. O excedente de água sujeito a percolação começa a verificar-se desde que o solo fique saturado, ou seja, quando o volume de chuva é maior que o volume

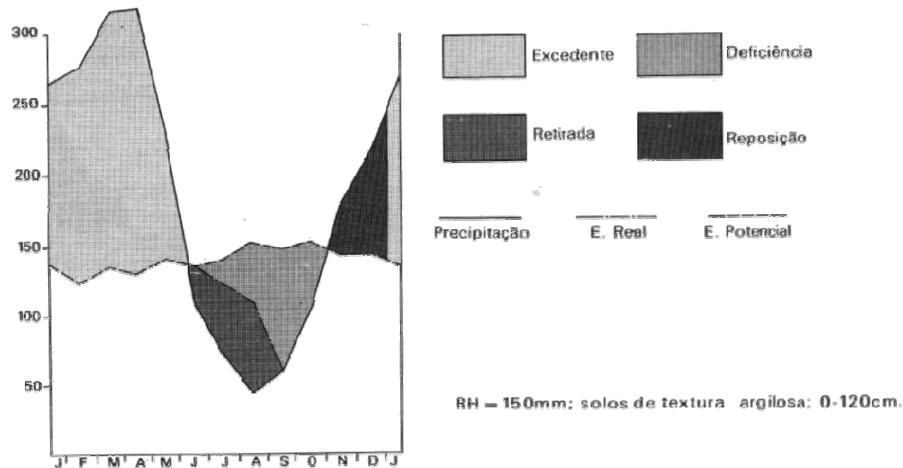
evapotranspirado, de tal ordem que supere a máxima retenção hídrica do solo. A evapotranspiração real ( $E_r$ ) é calculada pela diferença entre a Evapotranspiração Potencial ( $E_p$ ) e o déficit de umidade (Def.).



**Figura 2.22:** Teor iônico da fração pelítica dos solos superficiais da Amazônia.

Segundo RADAMBRASIL (1978), o balanço hídrico obtido pelo método de Thornthwaite e Mather considerando a reserva hídrica (RH) no solo de 150 mm, profundidade de 120 cm e textura argilosa, utilizando os dados da estação de Manaus, referentes ao período de 1945 a 1975 (Figura 2.23), mostra as curvas de Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Real evidenciando o excedente (janeiro a maio), deficiência (junho a outubro) retirada (julho a setembro) e reposição de água (novembro a dezembro).

O método de Thornthwaite e Matter utiliza as temperaturas médias mensal e anual de determinada localidade, posteriormente convertidas através de um nomograma em balanço hídrico determinado por esta metodologia tem por objetivo inter-relacionar os



**Figura 2.23:** Curvas de Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Real, baseadas nos dados da estação Meteorológica de Manaus no período de 1945 a 1975 (RADAMBRASIL, 1978).

Existe uma correlação entre classe textural e as tensões com que a água se prende às partículas do solo. Para solos arenosos não estratificados,  $0,1 \text{ kg/cm}^2$  é a tensão de laboratório que tem maior equivalência com a tensão real de campo;  $0,33 \text{ kg/cm}^2$  para solos de textura média;  $1 \text{ kg/cm}^2$  para solos argilosos. Todos estes valores representam as forças que retêm a umidade do solo, quando na condição de “capacidade de campo”. Quando toda a água do solo está retida por tensões superiores a  $15 \text{ kg/cm}^2$ , fala-se que foi atingido o “ponto de murcha”. A umidade utilizada pelos vegetais é aquela compreendida entre as duas tensões citadas, isto é, tensão sempre inferior a  $15 \text{ kg/cm}^2$  e superior a  $0,33 \text{ kg/cm}^2$ .

A salinidade, relacionada com a pressão osmótica, aumentando o poder de retenção do solo, e a presença do lençol freático próximo a superfície fornecendo umidade às camadas superiores, mesmo quando há deficiência de umidade, são fatores que podem alterar a disponibilidade de umidade às plantas.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTUDO DE CASO**

Este capítulo aborda as características do material utilizado na construção da Ponte sobre o Igarapé do Cedro, bem como levantamento de dados estabelecidos conforme a metodologia aplicada de acordo às normas nacionais e internacionais aplicado em construção e montagem de dutos terrestres. Esta metodologia envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados através de levantamentos bibliográficos.

#### **3.1 Definições de Tubos e Dutos**

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluido (gás ou líquido). Geralmente os tubos são de seção circular, apresentando-se como cilindros ocos. A grande maioria dos tubos funciona como condutos forçados, sem superfície livre, com o fluido tomando toda área da seção transversal. Já o termo tubulação é bastante amplo, e refere-se ao componente industrial representado pelo conjunto de tubos, válvulas, bombas, controladores de fluxo, etc (FBTS, 2009).

Um duto (pipeline) é uma linha de condução de fluido, composto por vários segmentos, os tubos, unidos normalmente por soldas circunferenciais. Os dutos se destinam ao transportes de fluidos ao longo de grandes distancias, se classificando quanto ao emprego como tubulações de transporte. O oleoduto ou poliduto é um duto destinado ao transporte de petróleo e seus derivados líquidos, podendo também transportar outras variedades de líquidos, como álcool. O gasoduto, por sua vez, se destina ao transporte de grandes volumes de gases, principalmente o gás natural. (TELLES, 1984).

#### **3.2 Fabricação dos Dutos**

A fabricação dos dutos para industria de óleo e gás natural segue em grande parte estas normas associadas: API (American Petroleum Instituto) (API (1999 e 2000) e ASME (American Society of Mechanical Engineers) (ASME (1995)). Os dutos podem ser fabricados com uma imensa variedade de materiais. As duas categorias principais são: metálicos e não metálicos. Dentre os materiais metálicos, encontram-se os ferrosos e não ferrosos. Os aços-carbono são materiais ferrosos, a base de

ferro carbono, podendo apresentar adição de outras ligas para melhora de determinadas propriedades, sendo então chamados aços-liga. Os dutos de aço-carbono são de uso geral devido ao seu baixo custo, excelentes qualidades mecânicas e facilidade de solda. Por isso representam a grande maioria dos tubos em tubulações industriais, conforme a Figura 3.1.



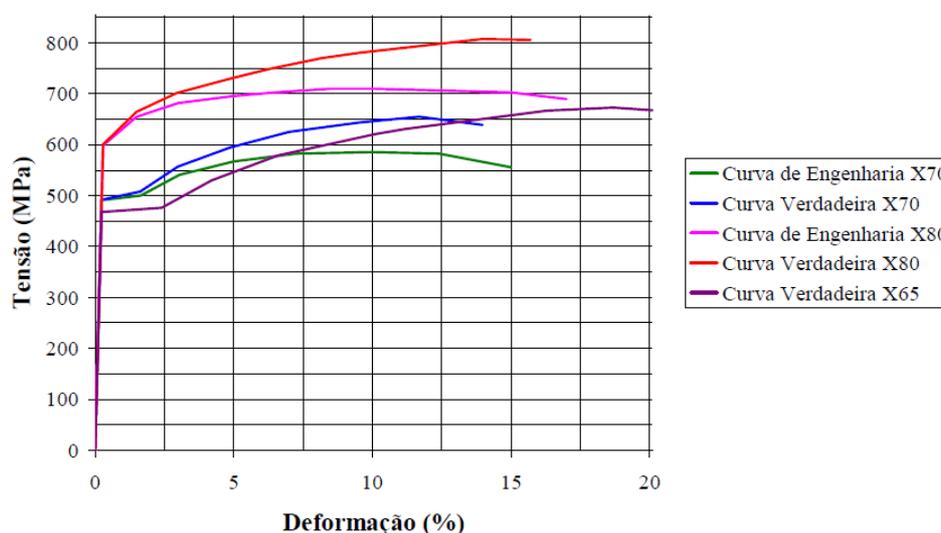
**Figura 3.1:** Gasoduto Coari-Manaus trecho B2 em Manacapuru

### 3.3 Especificação API 5L

A norma API 5L (API (2000) possui especificações em relação ao material e processo de fabricação dos dutos. Estabelece dois níveis de especificação dos produtos (PSL – Product Specification Level): PSL 1 e PSL 2. Estas duas designações determinam diferentes níveis de requisitos técnicos padrões, tendo a especificação PSL 2 mais requisitos do que a outra. Para os tubos com costura (solda longitudinal) PSL 1, a porcentagem máxima de carbono é 0,26% para grau B e superiores. O valor fica em 0,22% para PSL 2. Quanto maior a resistência mecânica de um material, que depende de maiores porcentagens de carbono, da adição de ligas e dos processos de fabricação, mais difícil será a realização da solda, exigindo o desenvolvimento de novas tecnologias para os graus API mais elevados (BATTELLE, 2006).

O material utilizado na análise deste trabalho para construção da ponte de dutos possui as seguintes características: Tubos API 5L-X70, módulo de elasticidade longitudinal  $E$  (Gpa) = 207.0, Coeficiente de Poisson  $\nu$  = 0.3, espessura  $e$  = 0.344", revestidos internamente para a redução da formação de pó preto; rugosidade, como consequência do revestimento interno, será de 9 micra atendendo a norma ASME B 31.8. Estas propriedades do material obtidos (CHOI *et al.* (2003), Hippert Jr. (2004) e Silva (2004)).

Os valores adaptados de resistência à tração destes materiais são apresentados na Figura 3.2. Para os aços X70 e X80, as curvas verdadeiras foram obtidas teoricamente a partir do diagrama tensão-deformação de engenharia.



**Figura 3.2:** Curva de tensão-deformação de engenharia e verdadeiras para os aços X65, X70 e X80.

### 3.4 Mecânica dos Sólidos

A mecânica dos Meios Contínuos e mais especificamente a Teoria da Elasticidade têm, como preocupação básica, o desenvolvimento de modelos matemáticos que podem representar adequadamente a situação física real de componentes industriais sujeitos aos esforços mecânicos. Em análise estrutural, o objetivo pode ser a determinação do campo de deslocamentos, as deformações internas ou as tensões atuantes no sistema devido a aplicação de cargas, além de outros.

No contexto da mecânica dos sólidos, serão apresentadas nesta seção as equações de deformações-deslocamentos, as equações constitutivas para materiais isotrópicos e a formulação para tubo cilíndrico.

#### 3.4.1 Equação de Deformações-Deslocamentos

Os deslocamentos referentes a um sistema de coordenadas podem ser observado fisicamente, calculados ou medidos para um determinado corpo elástico deformado. Para cada deslocamento consideram-se duas componentes, uma devido a movimentos relativos ou distorções na estrutura, e outra uniforme através da estrutura denominada movimento de corpo rígido. As relações entre deslocamento e distorções internas correspondentes são formuladas pelas equações denominadas de deformações-deslocamentos.

A partir do campo vetorial de deslocamentos, podem-se calcular as deformações em qualquer ponto de uma estrutura tridimensional. As equações de deformações-deslocamentos para a elasticidade linear infinitesimal tridimensional representam adequadamente as deformações somente se elas forem bem pequenas (décimo de milésimo). Seguem estas equações conforme Gould (1994).

Onde  $u_x, u_y$  e  $u_z$  são as componentes do vetor deslocamento  $u$  nas direções cartesianas  $x, y$  e  $z$  respectivamente. As deformações das **equações (3.1 (a), (b) e (c))** são deformações normais e das **equações (3.1 (d),(e) e (f))** deformações cisalhantes. As deformações normais causam alongamentos e as deformações cisalhantes rotações nas fibras do material em relação as coordenadas cartesianas:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (\text{a})$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y} \quad (\text{b})$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z} \quad (\text{c})$$

(3.1)

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \quad (\text{d})$$

$$\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \quad (\text{e})$$

$$\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \quad (\text{f})$$

As equações (3.1) podem ser colocadas na forma matricial,

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \quad (\text{3.2})$$

ou seja,

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ 2\varepsilon_{xy} \\ 2\varepsilon_{xz} \\ 2\varepsilon_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{Bmatrix}$$

### 3.4.2 Equações Constitutivas

Os aços utilizados nas simulações numéricas do presente trabalho foram adequadamente aproximados como sendo materiais isotrópicos. Estes materiais podem ser completamente definidos por duas constantes de engenharia. As equações constitutivas (equações tensões-deformações) para materiais elásticos lineares isotrópicos são dadas pela Lei de Hooke generalizada. Seguem estas equações conforme Gould (1994):

$$\sigma_{xx} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} \quad (\text{a})$$

$$\sigma_{yy} = \lambda\varepsilon_{xx} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} \quad (\text{b})$$

$$\sigma_{zz} = \lambda\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{zz} \quad (\text{c})$$

(3.4)

$$\sigma_{xy} = 2\mu\varepsilon_{xy} \quad (\text{d})$$

$$\sigma_{yz} = 2\mu\varepsilon_{yz} \quad (\text{e})$$

$$\sigma_{zx} = 2\mu\varepsilon_{zx} \quad (\text{f})$$

onde a primeira constante de Lamé pode ser expressa como:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (\text{3.5})$$

e a segunda constante de Lamé (é igual ao módulo de cisalhamento G) por,

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{3.6})$$

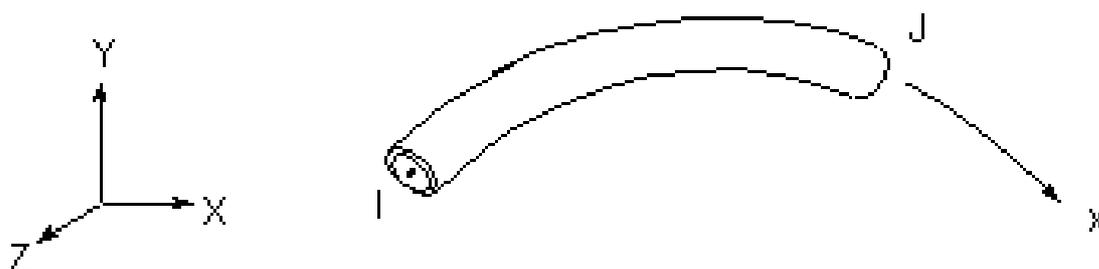
sendo E o módulo de elasticidade longitudinal e  $\nu$  o coeficiente de Poisson do material, as quais são as duas constantes de engenharia.

### 3.5 Análise Comportamental de um Duto como Elemento Estrutural da Ponte

Para verificação do comportamento de um elemento da ponte, utilizou-se o programa Ansys 8.0 que aplica o método numérico como análise das tensões e deformações de elementos estruturais submetidos a esforços. O método numérico utilizado pelo programa é o Método dos Elementos Finitos. O Método dos Elementos Finitos, MEF, é um procedimento numérico para solução de problemas da mecânica do contínuo dentro de uma tolerância aceitável. No caso específico do estudo em

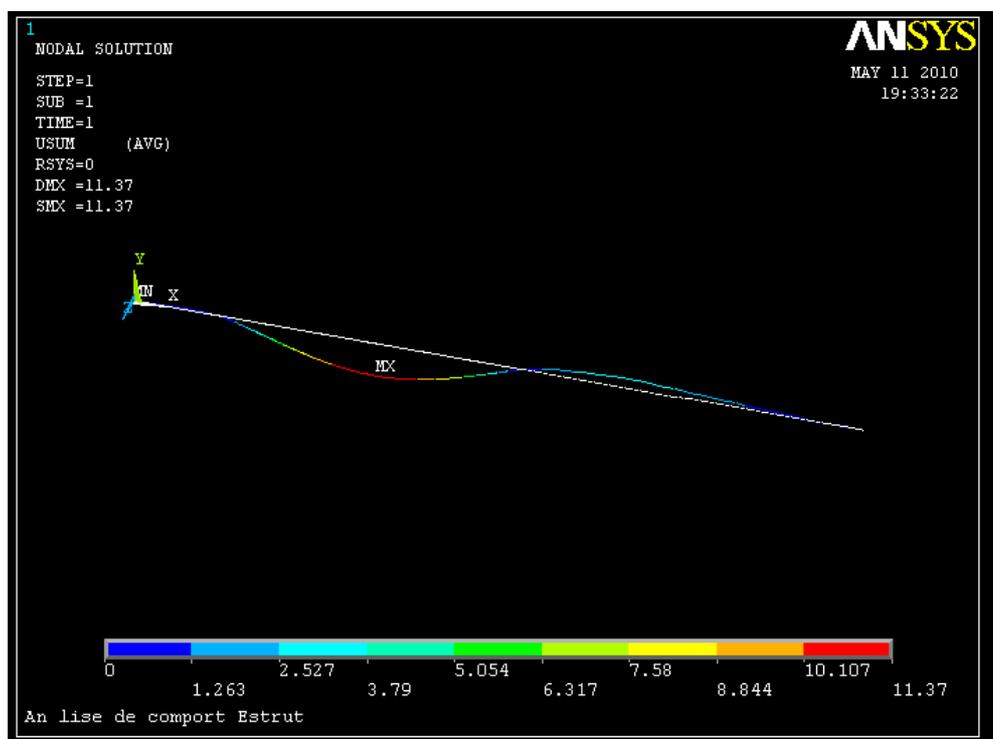
questão os procedimentos foram o estabelecido pelo programa para gerar um resultado com o objetivo de estabelecer parâmetros de comparação com o comportamento dos dutos submetidos a esforços verificados “in-loco” com a aplicação de uma prova de carga.

A carga real aplicada foi de dois equipamentos com um peso total de 100 toneladas em toda a extensão da ponte. Na modelagem numérica procurou-se uma situação mais desfavorável possível com aplicação de uma carga superior a aplicada no local. Como em qualquer programa que utiliza o Método dos Elementos Finitos, o elemento ou conjunto de elementos estruturais para a análise deve ser dividido em partes menores (discretização do modelo). A discretização consiste em modelar o corpo pela divisão em um sistema equivalente de corpos menores, ou unidades, (elementos finitos) interconectados em pontos comuns a dois ou mais elementos (nós ou pontos nodais), incluindo as condições de contorno (apoios) e os carregamentos. A Figura 3.3 mostra o elemento existente na biblioteca do programa utilizado para a análise do comportamento estrutural de um tubo da ponte.



**Figura 3.3:** PIPE18 - Elastic Curved Pipe (Elbow)

No estudo em questão o elemento foi discretizado em partes de 20 mm e conectados através de nós para uma maior confiabilidade no resultado da análise.



**Figura 3.4:** Linha de Influência de um elemento da Ponte.

A carga vertical equivalente aplicado em cada nó foi de  $5000\text{N}/\text{mm}^2$ , o que provocou o resultado da uma linha de influência conforme Figura 3.4. Os esforços resultantes nos nós do elemento estão relacionados na Tabela 3.1 nos anexos I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX.

### 3.6 Levantamento topográfico da Ponte sobre o Igarapé do Cedro

Foram levantadas topograficamente as cotas do nível do Igarapé do Cedro, do pavimento da ponte e da passarela de pedestre. Esses pontos foram coletados para verificação do comportamento do regime das águas tanto pluvial quanto de contribuição da drenagem do Acesso Terrestre, e com, diferenças de cotas da pista de rolamento da ponte com a cota RN 37.032 em comparação ao nível da água do igarapé do Cedro RN 35.261 apresenta um desnível de 1.771 mm. Da pista de rolamento da ponte com a cota RN 37.032 em comparação ao nível da passarela cota RN 37.033 apresenta um desnível de 1mm. Da cota da passarela ao nível d'água apresenta um desnível de 1.772mm.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSÃO, BIBLIOGRAFIAS E ANEXOS.**

#### **4.1 CONCLUSÃO**

O projeto de implantação da Ponte provisória sobre o Igarapé do Cedro apresentou facilidade e rapidez na montagem dos dutos, possibilitando recuperação de áreas degradadas provocadas pelo assoreamento do Igarapé do Cedro com baixo custo na construção e mitigação dos impactos ambientais; e com aproveitamento dos dutos em outras áreas de construção na faixa do gasoduto Coari-Manaus.

O projeto foi aprovado pelo consórcio envolvido na construção da ECOMP Juaruna e obedeceu às normas técnicas de construção de ponte e grandes estruturas.

Foram realizadas vistorias no entorno de Igarapé do Cedro para verificar suas condições reais, limpezas na montante e jusante, levantamento para identificar o comportamento de escoamento das águas para o melhor posicionamento dos dutos no leito, estabeleceu-se medidas de menores impactos ambientais com a construção da Ponte.

Construção de contenções para manter as características físicas margens do Igarapé do Cedro, realização de melhorias na drenagem pluvial do Acesso Terrestre, construção de barreiras para evitar o assoreamento, realização de prova de cargas in loco para verificação de capacidade de suporte de carga para equipamentos de até 150 toneladas e os aspectos de segurança na construção da Ponte.

Na análise estrutural através do programa ANSY 8.0 demonstrou resultados satisfatórios, com aplicação de cargas de diversas e pontuais, com valores acima exigidos em projeto, para verificação do comportamento estrutural da ponte. Com a colocação das chapas de 1" x 4m x 2,55m no tabuleiro da ponte permitiu a distribuição uniforme das cargas o que possibilitou um aumento significativo da resistência estrutural em toda a sua extensão.

Finalmente após análises dos resultados e as discussões do estudo, conclui-se que na utilização do programa para calculo estrutural utilizado para a construção da ponte provisória é viável do ponto de vista estrutural.

O custo da construção da ponte de dutos descartados respeitou o valor estabelecido no contrato do consórcio de R\$ 140 mil para melhoria contínua do Acesso Terrestre em Juaruna.

No estudo de Viabilidade Técnica Econômica, Ambiental e Social – EVTAS da Ponte provisória sobre o Igarapé do Cedro apresentou resultados satisfatórios para a sua implantação perante o sistema PETROBRAS.

O projeto da Ponte sobre o Igarapé do Cedro, com a utilização de dutos terrestres, é inédito, e possibilita estudos mais aprofundados para o aproveitamento desta técnica em outros empreendimentos, que necessitam enfrentar os desafios e as diversidades encontradas pela engenharia de construção.

A ponte de dutos descartados viabilizou o transporte de mais de 15 mil toneladas de equipamentos e materias para viabilizar a construção da ECOMP Juaruna pelos consórcios CONENGE/ACEPAR, SOLIMÕES e PETROBRAS.

## 4.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Propor a utilização na construção de píer de atracação;
- Apresentar como elemento de fixação de ancoragem;
- Possibilitar em drenagem provisória de arruamentos;
- Identificar como elemento de fundações de edificações;
- Utilizar como cortina de contenção de taludes;
- Estudar o comportamento de dutos na utilização de estruturas On Shore ou Off Shore para perfuração de poços de petróleo.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6502, Rochas e Solos - Terminologia, 1980.

-----NBR 6484, Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, 2001.

-----NBR 8036, Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios, 1983.

-----NBR 8044, Projeto geotécnico, 1983.

-----NBR 9603, Sondagem a trado, 1986.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. (acessado em janeiro de 2010) [http://www.anp.gov.br/conheca/anuário\\_2004.asp](http://www.anp.gov.br/conheca/anuário_2004.asp)

API, “**Specification for Line Pipe – Specification 5L**”, 42 edition, American Petroleum Institute, Washington, 2000.

ASME, “**Gas Transmission and Distribution Piping Systems – ASME B31.8**”, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1995.

ASME, “**Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines – A Supplement to ASME B31 Code for Pressure Piping**”, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1991.

BATTELLE, Battlle Science and Tecnology International. (acessado em janeiro de 2006) <http://www.battelle.org>.

BRANCO, C. A. G., “**Mecânica dos Materiais: Teoria e Aplicações**”, McGraw Hill, Lisboa, 1989.

----- Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL.1976. Folha SA.21-Santarém. **Levantamento de Recursos Naturais**. v. 10. p. 17-367.

----- Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. 1978. Folha SA.20 - Manaus. **Levantamento de Recursos Naturais**. v.18. p. 20-30.

CHOI, J. B.; GOO, B. .; KIM, J.C.; et al., **Development of Limit Load Solutions for Corroded Gas Pipelines**”, Int. J. Pres. Ves. Piping, v.80, p.121-128, 2003.

EIRAS J.F., Becker, C.R., Souza, E.M., Gonzaga, J.E.F., Silva, L.M., Daniel, L.M.F., Matsuda, N.S., Feijó, F.J. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências de Petróleo Brasileiro S.A, Rio de Janeiro,8 (1):17-45, 1994.

EIRAS J.F. Cenário Geológico das Bacias Sedimentares do Brasil. In: **Apostila sobre Prospecção e Desenvolvimento de Campos de Petróleo e Gás** (Schlumberger), 2005.

FBTS. **Fundação Brasileira de Soldagem**. Rio de Janeiro, 2009.  
<http://WWW.fbts.com.br>

GOULD, P.L., **“introduction to Elasticity”**, 2<sup>a</sup> ed. Springer, 1994.

HIPPERT JR, E., **“Investigação Experimental do Comportamento Dúctil de Aços API-X70 e Aplicação de Curvas de Resistência J- $\Delta$ a para Previsão de Colapso e Dutos”**, Escola Politécnica da USP, Engenharia Naval e Oceânica, Tese de Doutorado, 143., São Paulo, 2004.

LEAL J.W.L., Silva G.H., Santos D.B. dos, Teixeira W., Lima M.I.C. de, Fernandes C.A.C., Pinto A. do C. 1978. **Geologia da Folha SB.20-Roraima**. In: **BRASIL, DNPM**.

MAIA R.G.N., Godoy H.K., Yamaguti H.S., Moura P.A., Costa F.S.F., Holanda M.A. de, Costa J. de A. **Projeto Carvão no Alto Solimões**. Ministério de Minas e Energia. DNPM/CPRM, Manaus. 11v, 1977.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. 1984. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Léxico Estratigráfico do Brasil**. Brasília. p. 14 – 15.

NAKASAWA, V. A. **Cartografia Geotécnica**. In: Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Montevideo: UNESCO. p. 65-69.1995.

NAKASAWA, V. A. et al. **Cartografia Geotécnica: A aplicação como pressuposto**. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo. Anais... São Paulo: SBG/NSP. p. 329-336. 1991.

NEIVA, Z., **“Conheça o Gás Natural”**, Grifo, Rio de Janeiro, 1997.

NEIVA, Z., **“Conheça o Petróleo”**, Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1986.

OLIVEIRA, A. M. S. 1995. **Geologia Aplicada e Meio Ambiente**. In: Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Montevideo: UNESCO. p.3-9.

----- . 1996. **Geologia de Engenharia e Meio Ambiente**. In: V Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém. Boletim de Resumos Expandidos e Excursões. Belém: SBG/NO. p. 15-18.

OLIVEIRA, M. J. R. et al. 1995. **Feições estruturais Meso-Cenozóicas em um perfil na região do Tarumã, Manaus ( AM )**. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Boletim. Belém, SBG. p. 435-437.

**Projeto RADAMBRASIL**. Cap.I - Geologia. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 16).

TANCREDI, A. C. F. N. S. 1996. **Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém: Fundamentos para Uso e Proteção**. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, UFPa. 145p.

TELLES, P.C.S., **“Tubulações Industriais”**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., São Paulo, 1984.

TENARIS CONFAB. (acessado em janeiro de 2010) [HTTP://www.tenaris.com/pt/confab/prodser\\_proceso\\_sawlong.asp](http://www.tenaris.com/pt/confab/prodser_proceso_sawlong.asp)

TRANSPETRO. (acessado em janeiro de 2010).<http://www.transpetro.com.br>

RELATÓRIO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – **Gasoduto Coari-Manaus- RIMA:**  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 2004.

SIOLI, H. 1991. **Amazônia. Fundamentos da Ecologia da maior Região de Florestas Tropicais.** 3. ed. Traduzido por Johann Becker. Rio de Janeiro: Vozes. Tradução de: Amazonien. Grundlagen der Ökologie des grössten tropischen Waldlandes.

USIMINAS. (acessado em janeiro de 2010).<http://www.usiminas.com.br/produtos/>

ZUQUETTE, L. V. 1993. **Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio-Físico: fundamentos e guia para elaboração.** São Carlos: USP. Tese de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. v.1, 2. 367p.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### PRINT UNODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1

TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.16526E-01	0.0000	0.16526E-01
6	0.0000	0.34603E-01	0.0000	0.34603E-01
8	0.0000	0.54064E-01	0.0000	0.54064E-01
10	0.0000	0.74734E-01	0.0000	0.74734E-01
12	0.0000	0.96431E-01	0.0000	0.96431E-01
14	0.0000	0.11897	0.0000	0.11897
16	0.0000	0.14214	0.0000	0.14214
18	0.0000	0.16575	0.0000	0.16575
20	0.0000	0.18958	0.0000	0.18958
22	0.0000	0.21341	0.0000	0.21341
24	0.0000	0.23701	0.0000	0.23701
25	0.0000	0.24865	0.0000	0.24865
26	0.0000	0.26014	0.0000	0.26014
28	0.0000	0.28256	0.0000	0.28256
30	0.0000	0.30401	0.0000	0.30401
31	0.0000	0.31430	0.0000	0.31430
32	0.0000	0.32424	0.0000	0.32424
34	0.0000	0.34297	0.0000	0.34297
35	0.0000	0.35169	0.0000	0.35169
36	0.0000	0.35993	0.0000	0.35993

## ANEXO II

### POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
38	0.0000	0.37484	0.0000	0.37484
40	0.0000	0.38740	0.0000	0.38740
42	0.0000	0.39731	0.0000	0.39731
44	0.0000	0.40426	0.0000	0.40426
46	0.0000	0.40794	0.0000	0.40794
48	0.0000	0.40803	0.0000	0.40803
50	0.0000	0.40419	0.0000	0.40419
51	0.0000	0.40069	0.0000	0.40069
52	0.0000	0.39608	0.0000	0.39608
53	0.0000	0.39032	0.0000	0.39032
54	0.0000	0.38336	0.0000	0.38336
55	0.0000	0.37515	0.0000	0.37515
56	0.0000	0.36566	0.0000	0.36566
57	0.0000	0.35484	0.0000	0.35484
58	0.0000	0.34264	0.0000	0.34264
59	0.0000	0.32901	0.0000	0.32901
60	0.0000	0.31391	0.0000	0.31391
61	0.0000	0.29729	0.0000	0.29729
62	0.0000	0.27910	0.0000	0.27910
63	0.0000	0.25929	0.0000	0.25929
64	0.0000	0.23782	0.0000	0.23782
65	0.0000	0.21463	0.0000	0.21463
66	0.0000	0.18968	0.0000	0.18968
67	0.0000	0.16291	0.0000	0.16291
68	0.0000	0.13427	0.0000	0.13427
69	0.0000	0.10371	0.0000	0.10371
70	0.0000	0.71181E-01	0.0000	0.71181E-01
71	0.0000	0.36629E-01	0.0000	0.36629E-01
72	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
73	0.0000	-0.86807E-01	0.0000	0.86807E-01
74	0.0000	-0.17568	0.0000	0.17568

**ANEXO III**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
75	0.0000	-0.26656	0.0000	0.26656
76	0.0000	-0.35937	0.0000	0.35937
77	0.0000	-0.45406	0.0000	0.45406
78	0.0000	-0.55056	0.0000	0.55056
79	0.0000	-0.64882	0.0000	0.64882
80	0.0000	-0.74876	0.0000	0.74876
81	0.0000	-0.85034	0.0000	0.85034
82	0.0000	-0.95348	0.0000	0.95348
83	0.0000	-1.0581	0.0000	1.0581
84	0.0000	-1.1642	0.0000	1.1642
85	0.0000	-1.2717	0.0000	1.2717
86	0.0000	-1.3806	0.0000	1.3806
87	0.0000	-1.4907	0.0000	1.4907
88	0.0000	-1.6020	0.0000	1.6020
89	0.0000	-1.7145	0.0000	1.7145
90	0.0000	-1.8280	0.0000	1.8280
91	0.0000	-1.9427	0.0000	1.9427
92	0.0000	-2.0583	0.0000	2.0583
93	0.0000	-2.1749	0.0000	2.1749
94	0.0000	-2.2923	0.0000	2.2923
95	0.0000	-2.4106	0.0000	2.4106
96	0.0000	-2.5296	0.0000	2.5296
97	0.0000	-2.6494	0.0000	2.6494
98	0.0000	-2.7698	0.0000	2.7698
99	0.0000	-2.8909	0.0000	2.8909
100	0.0000	-3.0125	0.0000	3.0125
101	0.0000	-3.1347	0.0000	3.1347
102	0.0000	-3.2573	0.0000	3.2573
103	0.0000	-3.3803	0.0000	3.3803
104	0.0000	-3.5037	0.0000	3.5037
105	0.0000	-3.6274	0.0000	3.6274
106	0.0000	-3.7514	0.0000	3.7514
107	0.0000	-3.8756	0.0000	3.8756
108	0.0000	-3.9999	0.0000	3.9999
109	0.0000	-4.1244	0.0000	4.1244
110	0.0000	-4.2490	0.0000	4.2490
111	0.0000	-4.3736	0.0000	4.3736

**ANEXO IV**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
112	0.0000	-4.4982	0.0000	4.4982
113	0.0000	-4.6227	0.0000	4.6227
114	0.0000	-4.7472	0.0000	4.7472
115	0.0000	-4.8715	0.0000	4.8715
116	0.0000	-4.9956	0.0000	4.9956
117	0.0000	-5.1194	0.0000	5.1194
118	0.0000	-5.2430	0.0000	5.2430
119	0.0000	-5.3663	0.0000	5.3663
120	0.0000	-5.4892	0.0000	5.4892
121	0.0000	-5.6117	0.0000	5.6117
122	0.0000	-5.7337	0.0000	5.7337
123	0.0000	-5.8553	0.0000	5.8553
124	0.0000	-5.9764	0.0000	5.9764
125	0.0000	-6.0969	0.0000	6.0969
126	0.0000	-6.2168	0.0000	6.2168
127	0.0000	-6.3360	0.0000	6.3360
128	0.0000	-6.4546	0.0000	6.4546
129	0.0000	-6.5725	0.0000	6.5725
130	0.0000	-6.6896	0.0000	6.6896
131	0.0000	-6.8060	0.0000	6.8060
132	0.0000	-6.9215	0.0000	6.9215
133	0.0000	-7.0361	0.0000	7.0361
134	0.0000	-7.1499	0.0000	7.1499
135	0.0000	-7.2628	0.0000	7.2628
136	0.0000	-7.3746	0.0000	7.3746
137	0.0000	-7.4855	0.0000	7.4855
138	0.0000	-7.5954	0.0000	7.5954
139	0.0000	-7.7042	0.0000	7.7042
140	0.0000	-7.8119	0.0000	7.8119
141	0.0000	-7.9185	0.0000	7.9185
142	0.0000	-8.0240	0.0000	8.0240
143	0.0000	-8.1282	0.0000	8.1282
144	0.0000	-8.2313	0.0000	8.2313
145	0.0000	-8.3331	0.0000	8.3331
146	0.0000	-8.4336	0.0000	8.4336
147	0.0000	-8.5328	0.0000	8.5328
148	0.0000	-8.6308	0.0000	8.6308

**ANEXO V**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
149	0.0000	-8.7273	0.0000	8.7273
150	0.0000	-8.8225	0.0000	8.8225
151	0.0000	-8.9163	0.0000	8.9163
152	0.0000	-9.0086	0.0000	9.0086
153	0.0000	-9.0995	0.0000	9.0995
154	0.0000	-9.1889	0.0000	9.1889
155	0.0000	-9.2767	0.0000	9.2767
156	0.0000	-9.3631	0.0000	9.3631
157	0.0000	-9.4479	0.0000	9.4479
158	0.0000	-9.5311	0.0000	9.5311
159	0.0000	-9.6127	0.0000	9.6127
160	0.0000	-9.6927	0.0000	9.6927
161	0.0000	-9.7711	0.0000	9.7711
162	0.0000	-9.8478	0.0000	9.8478
163	0.0000	-9.9227	0.0000	9.9227
164	0.0000	-9.9960	0.0000	9.9960
165	0.0000	-10.068	0.0000	10.068
166	0.0000	-10.137	0.0000	10.137
167	0.0000	-10.205	0.0000	10.205
168	0.0000	-10.272	0.0000	10.272
169	0.0000	-10.336	0.0000	10.336
170	0.0000	-10.399	0.0000	10.399
171	0.0000	-10.460	0.0000	10.460
172	0.0000	-10.519	0.0000	10.519
173	0.0000	-10.576	0.0000	10.576
174	0.0000	-10.631	0.0000	10.631
175	0.0000	-10.684	0.0000	10.684
176	0.0000	-10.736	0.0000	10.736
177	0.0000	-10.785	0.0000	10.785
178	0.0000	-10.833	0.0000	10.833
179	0.0000	-10.879	0.0000	10.879
180	0.0000	-10.922	0.0000	10.922
181	0.0000	-10.964	0.0000	10.964
182	0.0000	-11.004	0.0000	11.004
183	0.0000	-11.041	0.0000	11.041
184	0.0000	-11.077	0.0000	11.077
185	0.0000	-11.111	0.0000	11.111

**ANEXO VI**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
186	0.0000	-11.142	0.0000	11.142
187	0.0000	-11.172	0.0000	11.172
188	0.0000	-11.200	0.0000	11.200
189	0.0000	-11.225	0.0000	11.225
190	0.0000	-11.249	0.0000	11.249
191	0.0000	-11.270	0.0000	11.270
192	0.0000	-11.290	0.0000	11.290
193	0.0000	-11.307	0.0000	11.307
194	0.0000	-11.322	0.0000	11.322
195	0.0000	-11.335	0.0000	11.335
196	0.0000	-11.346	0.0000	11.346
197	0.0000	-11.355	0.0000	11.355
198	0.0000	-11.362	0.0000	11.362
199	0.0000	-11.367	0.0000	11.367
200	0.0000	-11.370	0.0000	11.370
201	0.0000	-11.370	0.0000	11.370
202	0.0000	-11.369	0.0000	11.369
203	0.0000	-11.365	0.0000	11.365
204	0.0000	-11.360	0.0000	11.360
205	0.0000	-11.352	0.0000	11.352
206	0.0000	-11.342	0.0000	11.342
207	0.0000	-11.330	0.0000	11.330
208	0.0000	-11.316	0.0000	11.316
209	0.0000	-11.299	0.0000	11.299
210	0.0000	-11.281	0.0000	11.281
211	0.0000	-11.261	0.0000	11.261
212	0.0000	-11.238	0.0000	11.238
213	0.0000	-11.214	0.0000	11.214
214	0.0000	-11.187	0.0000	11.187
215	0.0000	-11.158	0.0000	11.158
216	0.0000	-11.127	0.0000	11.127
217	0.0000	-11.095	0.0000	11.095
218	0.0000	-11.060	0.0000	11.060
219	0.0000	-11.023	0.0000	11.023
220	0.0000	-10.984	0.0000	10.984
221	0.0000	-10.943	0.0000	10.943
222	0.0000	-10.899	0.0000	10.899

**ANEXO VII**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
224	0.0000	-10.807	0.0000	10.807
226	0.0000	-10.707	0.0000	10.707
230	0.0000	-10.483	0.0000	10.483
232	0.0000	-10.359	0.0000	10.359
234	0.0000	-10.228	0.0000	10.228
236	0.0000	-10.090	0.0000	10.090
238	0.0000	-9.9436	0.0000	9.9436
240	0.0000	-9.7903	0.0000	9.7903
242	0.0000	-9.6300	0.0000	9.6300
244	0.0000	-9.4627	0.0000	9.4627
246	0.0000	-9.2887	0.0000	9.2887
248	0.0000	-9.1080	0.0000	9.1080
250	0.0000	-8.9209	0.0000	8.9209
252	0.0000	-8.7276	0.0000	8.7276
254	0.0000	-8.5282	0.0000	8.5282
256	0.0000	-8.3229	0.0000	8.3229
258	0.0000	-8.1119	0.0000	8.1119
260	0.0000	-7.8955	0.0000	7.8955
262	0.0000	-7.6739	0.0000	7.6739
264	0.0000	-7.4472	0.0000	7.4472
266	0.0000	-7.2158	0.0000	7.2158
268	0.0000	-6.9798	0.0000	6.9798
269	0.0000	-6.8602	0.0000	6.8602
270	0.0000	-6.7395	0.0000	6.7395
271	0.0000	-6.6179	0.0000	6.6179
272	0.0000	-6.4953	0.0000	6.4953
274	0.0000	-6.2472	0.0000	6.2472
275	0.0000	-6.1219	0.0000	6.1219
276	0.0000	-5.9957	0.0000	5.9957
278	0.0000	-5.7410	0.0000	5.7410
282	0.0000	-5.2232	0.0000	5.2232
284	0.0000	-4.9606	0.0000	4.9606
286	0.0000	-4.6961	0.0000	4.6961
287	0.0000	-4.5632	0.0000	4.5632
288	0.0000	-4.4299	0.0000	4.4299
289	0.0000	-4.2963	0.0000	4.2963
290	0.0000	-4.1624	0.0000	4.1624

**ANEXO VIII**

NODE	UX	UY	UZ	USUM
292	0.0000	-3.8939	0.0000	3.8939
294	0.0000	-3.6247	0.0000	3.6247
296	0.0000	-3.3553	0.0000	3.3553
298	0.0000	-3.0859	0.0000	3.0859
300	0.0000	-2.8169	0.0000	2.8169
302	0.0000	-2.5487	0.0000	2.5487
304	0.0000	-2.2817	0.0000	2.2817
306	0.0000	-2.0163	0.0000	2.0163
308	0.0000	-1.7529	0.0000	1.7529
309	0.0000	-1.6221	0.0000	1.6221
310	0.0000	-1.4919	0.0000	1.4919
312	0.0000	-1.2337	0.0000	1.2337
314	0.0000	-0.97875	0.0000	0.97875
316	0.0000	-0.72745	0.0000	0.72745
318	0.0000	-0.48026	0.0000	0.48026
320	0.0000	-0.23763	0.0000	0.23763
322	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
324	0.0000	1.7623	0.0000	1.7623
326	0.0000	2.7417	0.0000	2.7417
328	0.0000	3.1119	0.0000	3.1119
330	0.0000	3.0311	0.0000	3.0311
332	0.0000	2.6422	0.0000	2.6422
334	0.0000	2.0727	0.0000	2.0727
336	0.0000	1.4346	0.0000	1.4346
337	0.0000	1.1207	0.0000	1.1207
338	0.0000	0.82479	0.0000	0.82479
339	0.0000	0.55650	0.0000	0.55650
340	0.0000	0.32458	0.0000	0.32458
341	0.0000	0.13681	0.0000	0.13681
342	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

**ANEXO IX**

	NODE	UX	UY	UZ	USUM
	344	0.0000	-0.17068E-01	0.0000	0.17068E-01
	346	0.0000	-0.29897E-01	0.0000	0.29897E-01
	348	0.0000	-0.38607E-01	0.0000	0.38607E-01
	350	0.0000	-0.43346E-01	0.0000	0.43346E-01
	352	0.0000	-0.44289E-01	0.0000	0.44289E-01
	354	0.0000	-0.41635E-01	0.0000	0.41635E-01
	356	0.0000	-0.35612E-01	0.0000	0.35612E-01
	358	0.0000	-0.26474E-01	0.0000	0.26474E-01
	360	0.0000	-0.14501E-01	0.0000	0.14501E-01

## MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

NODE	0	201	0	201
VALUE	0.0000	-11.370	0.0000	11.370

## ANEXO X

CONCRESONDA		SONDAGEM DE SIMPLES RECONECIMENTO À PERCUSSÃO (S.P.T.)																																																																																																																												
FORM. 04001																																																																																																																														
CLIENTE	CONCRETO Engenharia e Tecnologia SA	Projeto de Sondagem:	34.00.00																																																																																																																											
RESPONSÁVEL	(RUB) 3008.0000	Tarefa de Sondagem:	38.00.00																																																																																																																											
LOCAL DO CASO	Gasoduto Casa P-Filadélfia - Jandira	Cota de Corte do Solo (m) (RUB 000 4570) (SPT):	30,00																																																																																																																											
Sondagem Realizada:	SP 21.8	Profundidade:	22,00m																																																																																																																											
		RFI:	0000																																																																																																																											
<b>Profundidade X N<sub>60</sub></b>																																																																																																																														
PROFUNDIDADE (m)	PROFUNDIDADE (m)	PROFUNDIDADE (m)	PROFUNDIDADE (m)																																																																																																																											
30,00	29,50	29,00	28,50																																																																																																																											
28,00	27,50	27,00	26,50																																																																																																																											
25,00	24,50	24,00	23,50																																																																																																																											
22,00	21,50	21,00	20,50																																																																																																																											
20,00	19,50	19,00	18,50																																																																																																																											
18,00	17,50	17,00	16,50																																																																																																																											
16,00	15,50	15,00	14,50																																																																																																																											
14,00	13,50	13,00	12,50																																																																																																																											
12,00	11,50	11,00	10,50																																																																																																																											
10,00	9,50	9,00	8,50																																																																																																																											
8,00	7,50	7,00	6,50																																																																																																																											
6,00	5,50	5,00	4,50																																																																																																																											
4,00	3,50	3,00	2,50																																																																																																																											
2,00	1,50	1,00	0,50																																																																																																																											
0,00																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROFUNDIDADE (m)</th> <th>N<sub>60</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>30,00</td><td>12</td></tr> <tr><td>29,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>29,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>28,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>28,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>27,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>27,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>26,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>26,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>25,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>25,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>24,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>24,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>23,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>23,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>22,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>22,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>21,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>21,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>20,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>20,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>19,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>19,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>18,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>18,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>17,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>17,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>16,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>16,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>15,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>15,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>14,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>14,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>13,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>13,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>12,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>12,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>11,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>11,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>10,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>10,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>9,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>9,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>8,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>8,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>7,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>7,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>6,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>6,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>5,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>5,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>4,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>4,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>3,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>3,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>2,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>18</td></tr> <tr><td>0,50</td><td>15</td></tr> <tr><td>0,00</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>		PROFUNDIDADE (m)	N <sub>60</sub>	30,00	12	29,50	15	29,00	18	28,50	15	28,00	18	27,50	15	27,00	18	26,50	15	26,00	18	25,50	15	25,00	18	24,50	15	24,00	18	23,50	15	23,00	18	22,50	15	22,00	18	21,50	15	21,00	18	20,50	15	20,00	18	19,50	15	19,00	18	18,50	15	18,00	18	17,50	15	17,00	18	16,50	15	16,00	18	15,50	15	15,00	18	14,50	15	14,00	18	13,50	15	13,00	18	12,50	15	12,00	18	11,50	15	11,00	18	10,50	15	10,00	18	9,50	15	9,00	18	8,50	15	8,00	18	7,50	15	7,00	18	6,50	15	6,00	18	5,50	15	5,00	18	4,50	15	4,00	18	3,50	15	3,00	18	2,50	15	2,00	18	1,50	15	1,00	18	0,50	15	0,00	18	<p>Características do Equipamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TIPO DE BASTÃO: 2" x 1,50 m - 20 kg</li> <li>- BASTÃO: 2" x 1,50 m - 20 kg</li> <li>- DIÂMETRO: 2" - 50 mm</li> <li>- PISO: 2" - 50 mm</li> <li>- ALTURA DO QUILHA: 2" - 50 mm</li> </ul> <p>CONDIÇÕES DE SOLO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo arenoso com nível de compactação alta a pontos dispersos</li> <li>- Área ataca prova não-gateada de compactação (solo compacta e mal-humorado respoço)</li> <li>- Área ataca em nível de compactação alta a pontos dispersos</li> <li>- Presença de ventos</li> </ul>
PROFUNDIDADE (m)	N <sub>60</sub>																																																																																																																													
30,00	12																																																																																																																													
29,50	15																																																																																																																													
29,00	18																																																																																																																													
28,50	15																																																																																																																													
28,00	18																																																																																																																													
27,50	15																																																																																																																													
27,00	18																																																																																																																													
26,50	15																																																																																																																													
26,00	18																																																																																																																													
25,50	15																																																																																																																													
25,00	18																																																																																																																													
24,50	15																																																																																																																													
24,00	18																																																																																																																													
23,50	15																																																																																																																													
23,00	18																																																																																																																													
22,50	15																																																																																																																													
22,00	18																																																																																																																													
21,50	15																																																																																																																													
21,00	18																																																																																																																													
20,50	15																																																																																																																													
20,00	18																																																																																																																													
19,50	15																																																																																																																													
19,00	18																																																																																																																													
18,50	15																																																																																																																													
18,00	18																																																																																																																													
17,50	15																																																																																																																													
17,00	18																																																																																																																													
16,50	15																																																																																																																													
16,00	18																																																																																																																													
15,50	15																																																																																																																													
15,00	18																																																																																																																													
14,50	15																																																																																																																													
14,00	18																																																																																																																													
13,50	15																																																																																																																													
13,00	18																																																																																																																													
12,50	15																																																																																																																													
12,00	18																																																																																																																													
11,50	15																																																																																																																													
11,00	18																																																																																																																													
10,50	15																																																																																																																													
10,00	18																																																																																																																													
9,50	15																																																																																																																													
9,00	18																																																																																																																													
8,50	15																																																																																																																													
8,00	18																																																																																																																													
7,50	15																																																																																																																													
7,00	18																																																																																																																													
6,50	15																																																																																																																													
6,00	18																																																																																																																													
5,50	15																																																																																																																													
5,00	18																																																																																																																													
4,50	15																																																																																																																													
4,00	18																																																																																																																													
3,50	15																																																																																																																													
3,00	18																																																																																																																													
2,50	15																																																																																																																													
2,00	18																																																																																																																													
1,50	15																																																																																																																													
1,00	18																																																																																																																													
0,50	15																																																																																																																													
0,00	18																																																																																																																													
<p>Obs.: Sondagem realizada até 24,00 m por determinação do cliente</p> <p>UTM: N - 480.000,00M E - 222.000,00M</p> <p>Avanço:           <ul style="list-style-type: none"> <li>HN - Teste normal</li> <li>CS - Controle de água</li> <li>TC - Teste de água</li> <li>R - Resistência</li> </ul> </p>		<p>Profundidade (m)</p> <p>22,00</p> <p>21,50</p> <p>21,00</p> <p>20,50</p> <p>20,00</p> <p>19,50</p> <p>19,00</p> <p>18,50</p> <p>18,00</p> <p>17,50</p> <p>17,00</p> <p>16,50</p> <p>16,00</p> <p>15,50</p> <p>15,00</p> <p>14,50</p> <p>14,00</p> <p>13,50</p> <p>13,00</p> <p>12,50</p> <p>12,00</p> <p>11,50</p> <p>11,00</p> <p>10,50</p> <p>10,00</p> <p>9,50</p> <p>9,00</p> <p>8,50</p> <p>8,00</p> <p>7,50</p> <p>7,00</p> <p>6,50</p> <p>6,00</p> <p>5,50</p> <p>5,00</p> <p>4,50</p> <p>4,00</p> <p>3,50</p> <p>3,00</p> <p>2,50</p> <p>2,00</p> <p>1,50</p> <p>1,00</p> <p>0,50</p> <p>0,00</p>	<p>Profundidade (m)</p> <p>30,00</p> <p>29,50</p> <p>29,00</p> <p>28,50</p> <p>28,00</p> <p>27,50</p> <p>27,00</p> <p>26,50</p> <p>26,00</p> <p>25,50</p> <p>25,00</p> <p>24,50</p> <p>24,00</p> <p>23,50</p> <p>23,00</p> <p>22,50</p> <p>22,00</p> <p>21,50</p> <p>21,00</p> <p>20,50</p> <p>20,00</p> <p>19,50</p> <p>19,00</p> <p>18,50</p> <p>18,00</p> <p>17,50</p> <p>17,00</p> <p>16,50</p> <p>16,00</p> <p>15,50</p> <p>15,00</p> <p>14,50</p> <p>14,00</p> <p>13,50</p> <p>13,00</p> <p>12,50</p> <p>12,00</p> <p>11,50</p> <p>11,00</p> <p>10,50</p> <p>10,00</p> <p>9,50</p> <p>9,00</p> <p>8,50</p> <p>8,00</p> <p>7,50</p> <p>7,00</p> <p>6,50</p> <p>6,00</p> <p>5,50</p> <p>5,00</p> <p>4,50</p> <p>4,00</p> <p>3,50</p> <p>3,00</p> <p>2,50</p> <p>2,00</p> <p>1,50</p> <p>1,00</p> <p>0,50</p> <p>0,00</p>																																																																																																																											
<p>Fluxo: 20</p> <p>Barra: 50 m</p> <p>Resistência: 100 kg</p> <p>Operador: Fábio L. S.</p>		<p>Nome: _____</p>																																																																																																																												
<p>Rua Nova Paz, n. 15, 01.100-000 - Parque Das Pátrias (011) 3040-3040</p> <p>Cnpj: 06.056.661/0001-00 - E-mail: atendimento@concreto.com</p>																																																																																																																														



## APÊNDICES

## APÊNDICE A



**Montagem da Ponte sobre o Igarapé do Cedro**

## APÊNDICE B



**Finalização da montagem da Ponte sobre o Igarapé do Cedro**

## APÊNDICE C



**Finalização da Ponte sobre o Igarapé do Cedro**

**APÊNDICE D**

**Construção da Ponte sobre o Igarapé do Cedro  
Prova de carga na Ponte sobre o Igarapé do Cedro para 100 toneladas**



**Distribuição de chapas de 1" x 4m x 2.55m para distribuição  
de cargas uniforme obre a Ponte do Igarapé do Cedro.**

## APÊNDICE E

### Avanço em Todas as Frentes

Com planejamento e muito comprometimento por parte da força de trabalho, o Consórcio Solimões está vencendo os obstáculos naturais de se fazer uma obra na Amazônia. A GDK juntamente com a TECNA estão usando todo o know-how que possuem na área de construção e montagem para realizar este empreendimento dentro do prazo estipulado pelo cliente, contando com os melhores profissionais em suas áreas e com uma quantidade de equipamentos satisfatória, as empresas estão mostrando que é possível, e tudo isso apoiado nas normas contratuais de segurança, meio ambiente, saúde e responsabilidade social.

Sob a coordenação dos engenheiros Leonardo, Clóvis e Doriel, o Consórcio avançou em todas as frentes:

1. O acesso da Ecomp de Juaruna não oferecia nenhuma condição de trafegabilidade, porém hoje a história é outra, o acesso encontra-se completamente recuperado, sendo que, em grande parte, foram colocadas chapas de metal de 1" de espessura para que o transporte de equipamentos seja o mais seguro possível.

Algumas áreas do acesso com o antes e o depois da intervenção do Consórcio Solimões:



Área do ancoradouro

**APÊNDICE F****Ponte do Acesso de Juaruna****Trecho do acesso****Praça 1 – Ponto de estocagem dos equipamentos antes dos mesmos seguirem para instalação.**

## APÊNDICE G

Trechos cobertos com chapas de aço para dar maior consistência ao terreno durante o transporte de equipamentos.



O canteiro do Consórcio em Juaruna está praticamente pronto, a equipe de logística liderada pelo Encarregado Waldo Mota está trabalhando incansavelmente para deixar tudo pronto com estrutura de escritórios, salas de reunião, refeitório, almoxarifado, banheiros, etc.



**Canteiro de obra do Consorcio Solimões S.A**

## APÊNDICE H

Na área de ancoradouro, o desembarque de equipamentos segue a toda velocidade, as partes das turbinas chegam de balsa ao porto de Juaruna e sobre carretas são transportadas até o pátio de estocagem, denominado Praça 1, de onde seguirão para a área da Ecomp onde serão instaladas.



**Preparação da pista de rolamento**

## APÊNDICE I



**Utilização de mantas de reforço geotecnológico no Acesso Terrestre**

## APÊNDICE J



**Passagem de carreta com compressor e turbina com 49 toneladas sobre a Ponte do Igarapé do Cedro.**



## APÊNDICE K

Equipamentos turbo compressores e turbinas sobre chapas de aço de 1"x 4 m x 2.55m na entrada da ECOMP aguardando liberação da TRANSPETRO.



## APÊNDICE L

**Os responsáveis pelo trabalho bem feito: Equipes de melhoria de acesso e desembarque de equipamentos**



**Equipe de construção do Canteiro de Juaruna:**