

HDD

BOAS PRÁTICAS DE LIÇÕES APRENDIDAS EM OBRAS DA PETROBRAS

Melina Almeida - Petrobras
melina-almeida@petrobras.com.br

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 9 anos, a Petrobras adquiriu experiência e conhecimento em HDD para a instalação da sua malha de dutos.

Foram enfrentados problemas e desvios devido a um projeto básico com poucas informações e poucas investigações.

As lições aprendidas resultaram em boas práticas a fim de evitar ao máximo os contratempos.

Seguem alguns exemplos que realmente fizeram diferença nos projetos de HDD na Petrobras.

GEOLOGIA E GEOTECNIA

Travessia dos Rios Pirineus e São João

Diâmetro da tubulação: **38"** (970 mm)

Diâmetro final do furo: **54"** (1370 mm)

Tipo de formação a atravessar: **solo aluvionar, solo residual e alteração de rocha**



Rio Pirineus



Rio São João

Material granular - areia grossa e seixos:

- Dificuldade de corte;
- Dificuldade de carreamento;
- Abrasão



Resultado:

- Limpeza deficiente;
- Dificuldade de alargamento do furo;
- Desgaste excessivo das ferramentas;
- Quebra de ferramentas.

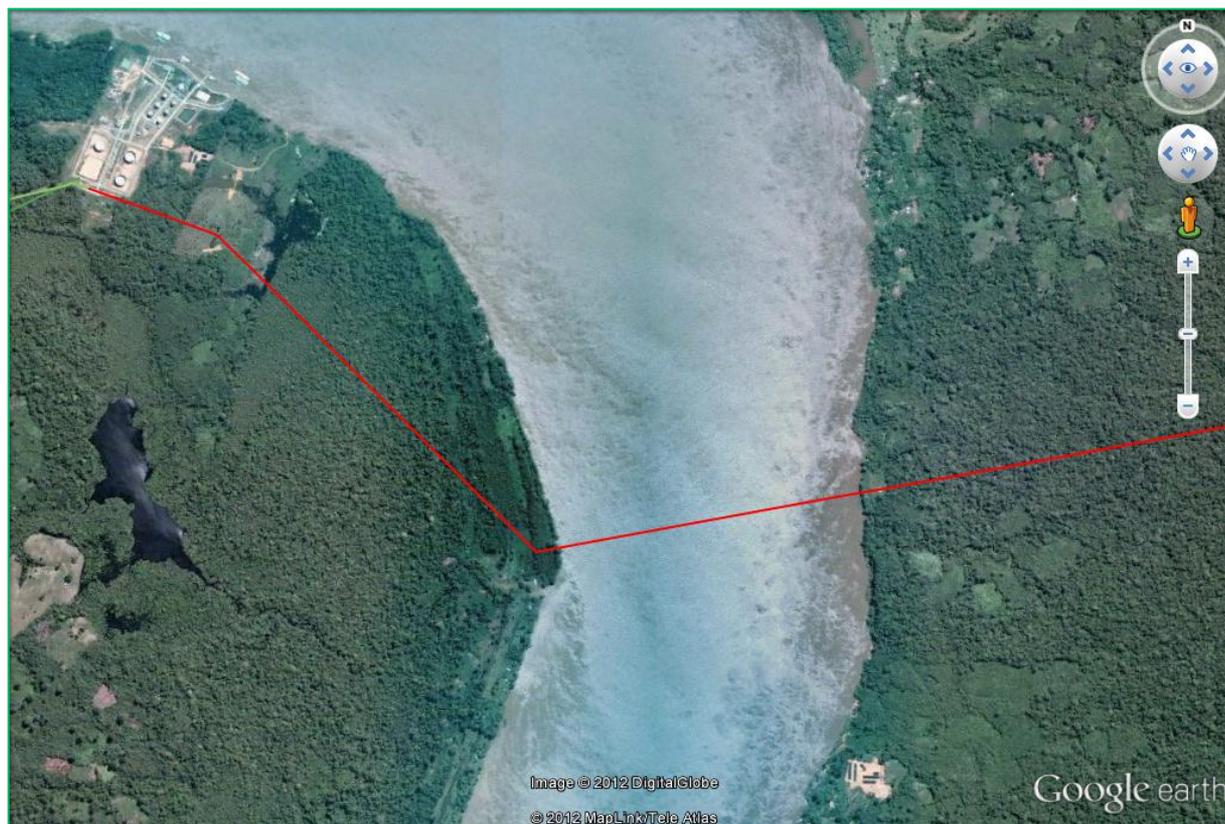
O puxamento da coluna teve duração de 44hs.

Travessia do Rio Solimões

Diâmetro da tubulação: **20"** (508 mm) Diâmetro final do furo: **28"** (711 mm)

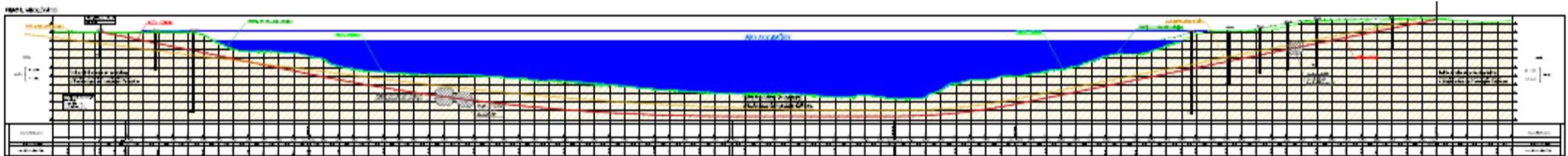
Extensão: **1850 m**

Tipo de formação a atravessar: **Solo argilo siltoso**



Argila expansiva:

- Obstrução do furo;
- Aprisionamento de ferramenta



Ação *:

- Controle dos parâmetros do fluido
- Adição de inibidores de argila

* Pelo técnico de fluidos

<u>Mud Properties</u>		Check 1	Check 2	Check 3	Check 4
Time		08:00	11:00	15:00	02:00
Local		TQ MIX	TQ MIX	TQ MIX	TQ MIX
Length	(m)	RETORNO	RETORNO	RETORNO	RETORNO
Density	(g/cm ³)	1.02	1.03	1.04	1.12
Funnel Vis	(sec/L)	70	72	73	70
Apparent Vis	(cP)	30	34	24	25.5
Plastic Vis	(mPa.s)	13	21	15	16
Yield Point	(Pa)	34	26	18	19
Ø600		60	68	48	51
Ø300		47	47	33	35
Ø200		37	30	26	29
Ø100		20	20	18	21
Ø6		8	8	8	10
Ø3		7	7	7	9
Gels 10 Sec	(lb/100ft ²)	7	7	7	11
Gels 10 Min	(lb/100ft ²)	13	12	10	30
API Fluid Loss	(ml)	12	9	11	11
pH		8.5	9.0	9.0	9.0
Solids Content	(%)	1.2	1.8	2.4	7.3
Sand Content	(%)	0.3	0.2	0.1	0.8
Calcium	(mg/l)	20			
Chloride	(mg/l)	100	200		

Recommendations

Tratamento efetuado no fluido de retorno rig side, diluindo devido elevação da densidade e efetuando tratamento com: Barrilha leve= 3Kg, Sper Gel-N=50Kg, Platinum Pac= 3Kg, PolyplusRD= 2 Kg, Duovis= 2Kg, para manutenção das propriedades como inibir argila da formação, sustentação do poço, lubrificação do alargador e carregamento dos cortados a não adição dos produtos acima implica na elevação de filtrado hidratando a argila da formação. elevação da densidade eleva pressão hidrostática consequência fratura induzida.

Novo furo em 22 dias, do furo piloto ao puxamento.

Canal da Integração

Canal artificial profundo

Método construtivo inicial

HDD

Extensa campanha investigativa

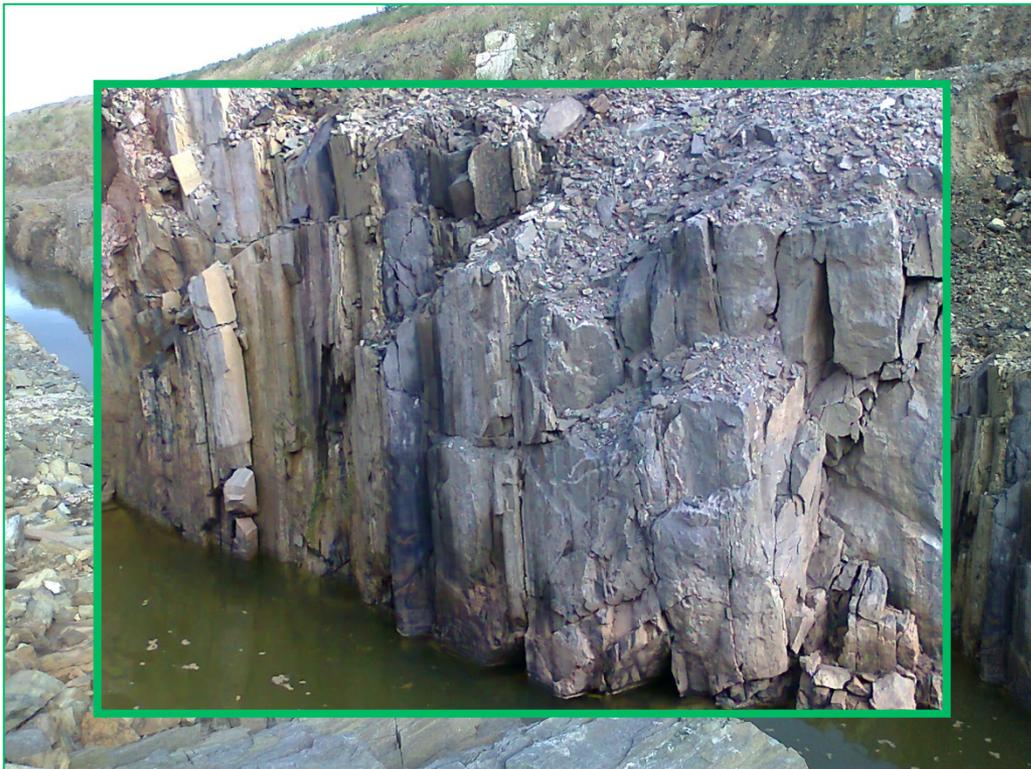
Rocha extremamente fraturada

Problemas de navegabilidade

Perda de fluido

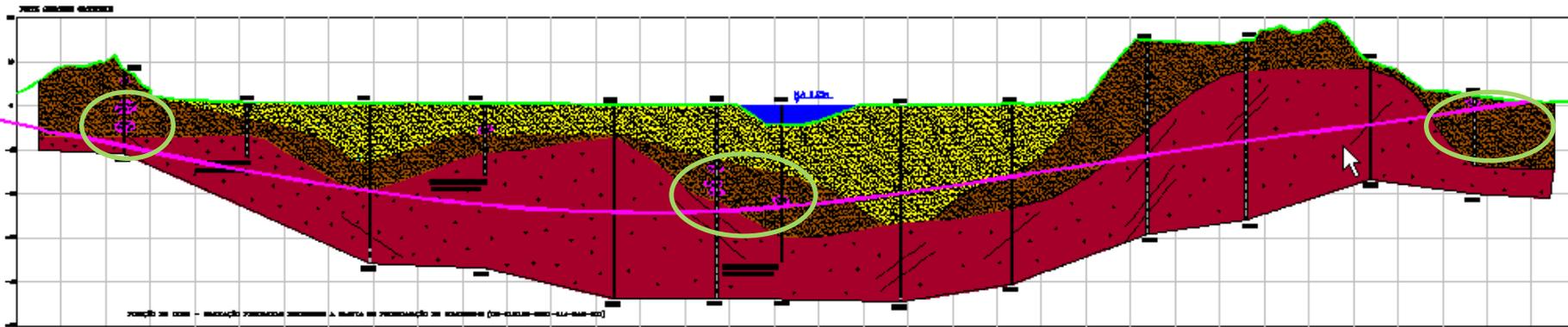
Limpeza deficiente

HDD inviável!
Solução: Travessia aérea



Travessia do Rio Estrela

Tipo de subsolo: **Camada coluvionar, com presença de matacões, seguida por rocha sã.**



Matacões:

- desvios na trajetória
- manobras para troca de ferramentas

O primeiro duto a atravessar o Rio Estrela foi projetado com uma campanha investigativa deficiente, e atravessando a camada de colúvios.

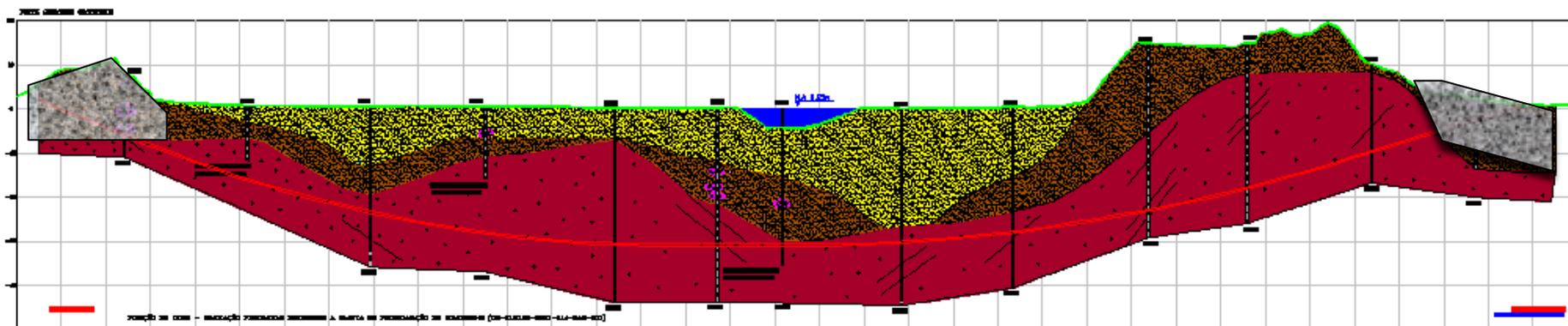
Resultado:

- Dimensionamento inadequado do ferramental
- Quebra de ferramental
- Atraso na obra

Para o segundo duto a atravessar o Rio Estrela, foi realizada campanha investigativa mais consistente, com sondagens diretas e indiretas, identificando as camadas coluvionares.

Solução de projeto:

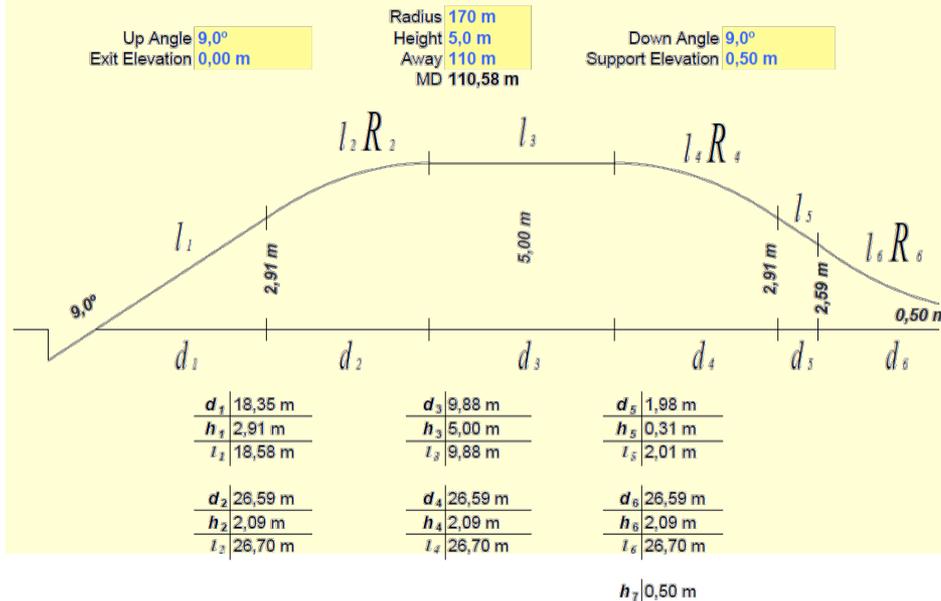
- Trajetória em rocha sã, na maior parte;
- Jet grouting nas camadas coluvionares iniciais.



PUXAMENTO DA COLUNA

A catenária do tubulação deve ser dimensionada levando em consideração o ângulo de saída do furo e as limitações da tubulação a ser instalada.

Módulo de Elasticidade	2,0E+05 MPa	2,0E+05 MPa
Pressão de Projeto	0 kgf/cm ²	100 kgf/cm ²
Diâmetro Externo	20"	20"
Tensão de Escoamento	70.000 PSI	70.000 PSI
Espessura da Parede	0,500"	0,500"
Comprimento do Tubo	12 m	12 m
Raio Mínimo Natural	116,95 m	171,00 m
Ângulo Máximo	5,88°	4,02°
Desenvolvimento do Tubo	8 m	8 m
Raio Mínimo Curvado	15,240 m	15,240 m
Ângulo Máximo	30,08°	30,08°



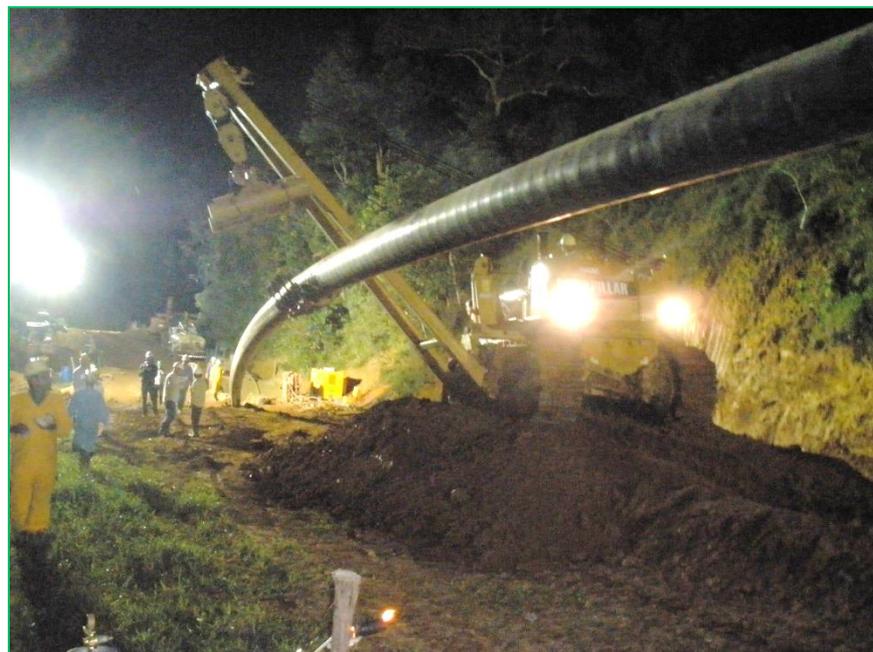
Deve ser gerado um projeto da catenária, com posicionamento dos equipamentos que obedeça a estes requisitos, para garantir a segurança da tubulação e a viabilidade do puxamento.

Puxamentos sem projeto podem gerar tensões não previstas nas tubulações, além de complicações na própria operação de puxamento.

Travessia do Rio Estrela



Travessia do Rio do Peixe



É possível reduzir drasticamente o esforço de puxamento na sonda utilizando técnicas de lastreamento da tubulação para contrabalancear o empuxo realizado pelo fluido de perfuração, diminuindo o atrito da tubulação com as paredes do furo e protegendo o seu revestimento.

3 - Cargas e Tensões		
Tubo de Aço		
Diâmetro Externo (OD):	32,000"	812,80 mm
Espessura da Parede (e):	0,688"	17,48 mm
Razão (OD/e):	46,51	
Peso Linear:	230,08 lbf/ft	342,40 kgf/m
Limite de Escoamento (Sy):	X70	70.000 PSI
Força Máxima de Tração com 90% de Sy:	4.263.729,74 lbf	1.934,00 tf
Módulo de Elasticidade (E):	29.000.000 PSI	200.000 MPa
Momento de Inércia:	8.298,32 in ⁴	345.401,96 cm ⁴
Área da Parede:	67,68 in ²	436,63 cm ²
Volume Interno Linear:	5,11507 ft ³ /ft	0,47520 m ³ /m
Volume Externo Linear:	5,58505 ft ³ /ft	0,51887 m ³ /m
Extensão do Furo no Perfil:	3.108,20 ft	947,38 m
Coeficientes		
Poisson:	0,30	
Atrito Tubo/Solo:	0,30	
Atrito Tubo/Fluido (Resistência):	0,025 PSI	0,172 kPa
Fluidos		
Densidade Anular do Fluido de Perfuração:	10,000 PPG	74,81 lb/ft ³ 1,20 g/cm ³ (SG)
Densidade do Fluido de Lastreamento:	0,000 PPG	0,00 lb/ft ³ 0,00 g/cm ³ (SG)
Peso Linear do Fluido de Perfuração Deslocado:	417,64 lbf/ft	621,52 kgf/m
Peso Linear do Fluido de Lastreamento:	0,00 lbf/ft	0,00 kgf/m
Linha de PEAD		
Diâmetro Externo (OD):	0,000"	0 mm
Espessura da Parede (e):	0,000"	0,0 mm
Peso Linear:	0,00 lbf/ft	0,00 kgf/m
Volume Interno Linear:	0,00000 ft ³ /ft	0,00000 m ³ /m
Volume Externo Linear:	0,00000 ft ³ /ft	0,00000 m ³ /m
Controle da Flutuabilidade		
Último Alargamento:	48,000"	
Diâmetro Externo Tubo de Aço:	32,000"	
Peso Linear Efetivo do Tubo de Aço:	-187,56 lbf/ft	-279,12 kgf/m
Configuração do Lastreamento:	tubo de aço sem fluido de lastreamento	
Força de Puxamento		
Força Total Necessária para Arraste da Coluna:	320.930,84 lbf	145,57 tf

3 - Cargas e Tensões		
Tubo de Aço		
Diâmetro Externo (OD):	32,000"	812,80 mm
Espessura da Parede (e):	0,688"	17,48 mm
Razão (OD/e):	46,51	
Peso Linear:	230,08 lbf/ft	342,40 kgf/m
Limite de Escoamento (Sy):	X70	70.000 PSI
Força Máxima de Tração com 90% de Sy:	4.263.729,74 lbf	1.934,00 tf
Módulo de Elasticidade (E):	29.000.000 PSI	200.000 MPa
Momento de Inércia:	8.298,32 in ⁴	345.401,96 cm ⁴
Área da Parede:	67,68 in ²	436,63 cm ²
Volume Interno Linear:	5,11507 ft ³ /ft	0,47520 m ³ /m
Volume Externo Linear:	5,58505 ft ³ /ft	0,51887 m ³ /m
Extensão do Furo no Perfil:	3.108,20 ft	947,38 m
Coeficientes		
Poisson:	0,30	
Atrito Tubo/Solo:	0,30	
Atrito Tubo/Fluido (Resistência):	0,025 PSI	0,172 kPa
Fluidos		
Densidade Anular do Fluido de Perfuração:	10,000 PPG	74,81 lb/ft ³ 1,20 g/cm ³ (SG)
Densidade do Fluido de Lastreamento:	8,345 PPG	62,42 lb/ft ³ 1,00 g/cm ³ (SG)
Peso Linear do Fluido de Perfuração Deslocado:	417,64 lbf/ft	621,52 kgf/m
Peso Linear do Fluido de Lastreamento:	145,57 lbf/ft	216,63 kgf/m
Linha de PEAD		
Diâmetro Externo (OD):	22,047"	560 mm
Espessura da Parede (e):	0,688"	17,4 mm
Peso Linear:	18,93 lbf/ft	28,18 kgf/m
Volume Interno Linear:	2,33190 ft ³ /ft	0,21664 m ³ /m
Volume Externo Linear:	2,65116 ft ³ /ft	0,24630 m ³ /m
Controle da Flutuabilidade		
Último Alargamento:	48,000"	
Diâmetro Externo Tubo de Aço:	32,000"	
Diâmetro Externo Tubo de PEAD:	22,047"	560 mm
Peso Linear Efetivo do Tubo de Aço:	-23,06 lbf/ft	-34,31 kgf/m
Configuração do Lastreamento:	tubo de aço vazio e PEAD com fluido de lastreamento	
Força de Puxamento		
Força Total Necessária para Arraste da Coluna:	134.404,76 lbf	60,96 tf

PESCARIA

As atividades de pescaria são sempre um transtorno para as perfurações, tanto em HDDs, como em perfurações de poços de petróleo.

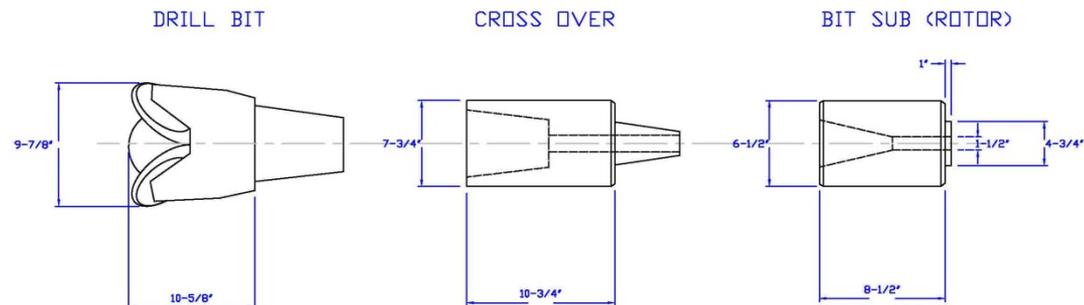
A Petrobras conta com um setor especializado neste tipo de atividade, para diminuir o impacto nas operações de petróleo.

Item	Qtd	Descrição
1	1	Master Mill 8.1/8"
2	1	Sapata Dentada 8.1/8" p/ M. Mill
3	1	Taper Tap 2.7/8 RG
4	1	XO 2.7/8 RG.PN/2.7/8 IF/CX
5	1	XO 2.7/8 IF.PN/4.1/2 IF/CX
6	1	Magneto 8"
7	1	Overshot 9.5/8" NP 264
8	1	Basket Grapple NP-238 p/ 6.1/2"
9	1	Basket Grapple NP-238 p/ 6.3/4"
10	1	Basket Grapple NP-238 p/ 6.5/8"
11	1	Basket Grapple Control NP-239
12	1	Spiral Grapple NP- 238 p/ 7.3/4"
13	1	Spiral Grapple NP- 238 p/ 7.5/8"
14	1	Spiral Grapple Control NP- 239
15	1	Overshot 8.1/8" NP- C 5222
16	1	Basket Grapple NP-B 5227 p/ 6.1/8"
17	1	Basket G. Contrl NP-B 5228 p/ 6.1/8"
18	1	Spiral Grapple NP-B 5227 p/ 6.5/8"
19	1	Spiral Grapple NP-B 5227 p/ 6.1/2"
20	1	Spiral Grapple NP-B 5227 p/ 6.3/8"
21	1	Spiral Grapple NP-B 5227 p/ 6.1/4"
22	1	Spiral Grapple Control NP-B 5228
23	1	Spiral Grapple NP-B 5227 p/ 6.3/4"
24	1	Spiral Grapple Control NP-B 5228
25	1	Estampador 8.1/4"
26	1	Basket G. NP- 38942 p/ 5.7/8"

A experiência desta equipe foi fundamental para o resgate do peixe da perfuração na Represa Pratagi – AL

Foram mobilizadas 26 ferramentas e elaborado um plano de pescaria.

PEIXE RIO PRATAGI

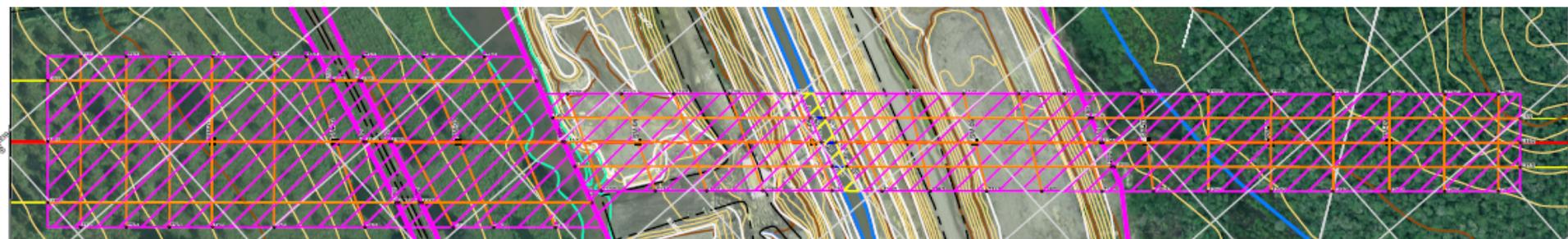


O peixe foi recuperado na 3ª tentativa, em 3 semanas.



PLANEJAMENTO E PROJETO

Para evitar os problemas mostrados e se preparar para as dificuldades, as campanhas de investigação para projetos de HDD na Petrobras se tornaram bem mais apuradas.



Sondagens indiretas:

- GPR
- Sísmica de refração
- Tomografia elétrica

Ensaio in situ:

- Permeabilidade
- Perda d'água
- Orientação de testemunho

Sondagens diretas:

- SPT
- Sondagem rotativa

Localização de interferências:

- PCM
- GPR
- Trincheiras
- Cadastro

Ensaio de laboratório Rocha:

- Compressão uniaxial;
- Abrasão CERCHAR;
- Nível de fraturamento;
- Lâmina Petrográfica

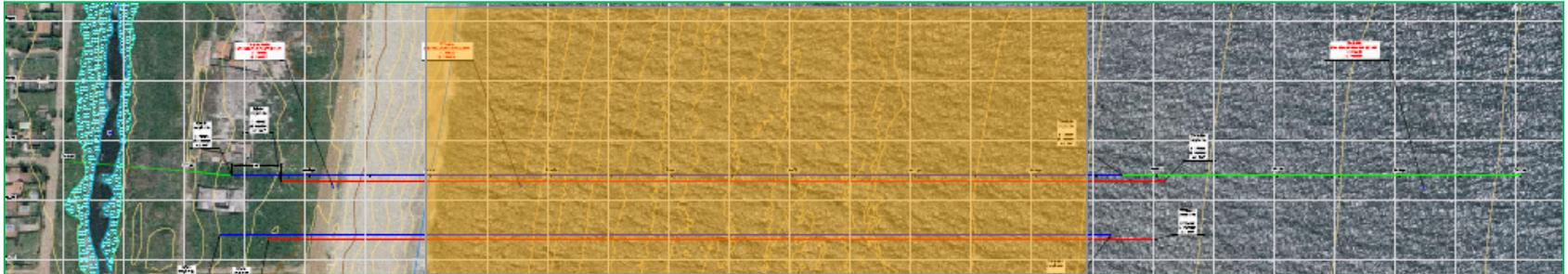
Solo:

- Caracterização completa;
- Expansibilidade de argilas;
- Permeabilidade;
- Ensaio triaxiais

Furo Piloto Investigativo

Nas aproximações de praia, a zona de arrebentação é sempre de difícil investigação, pela limitação de calado dos equipamentos marinhos e pela instabilidade da água.

Desta forma, se forma uma “zona cega” geológica e geotecnicamente.



Para o Shore Approach de um emissário foi realizado um Furo Piloto Investigativo, que teve como objetivo colher alguma informação geotécnica da formação, mas principalmente parâmetros de perfuração.

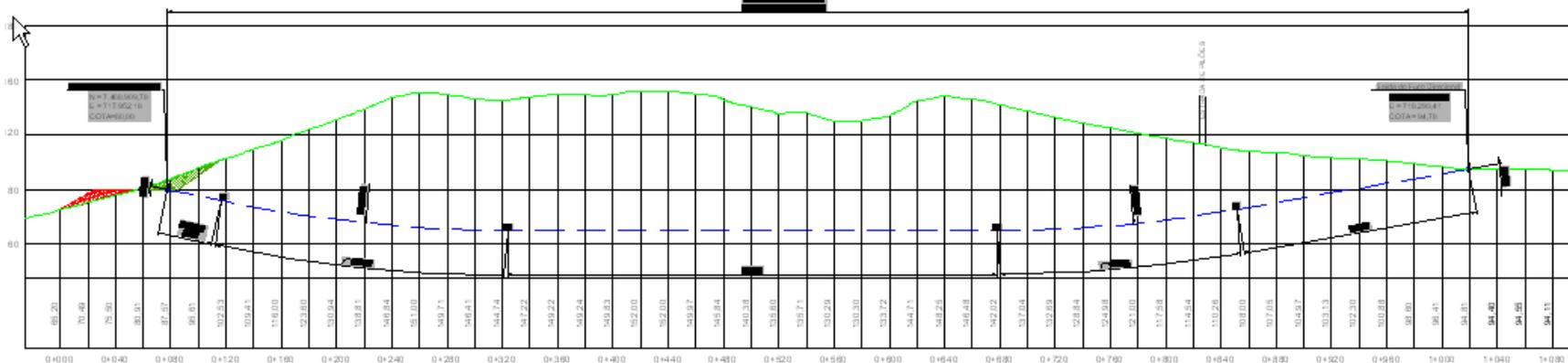
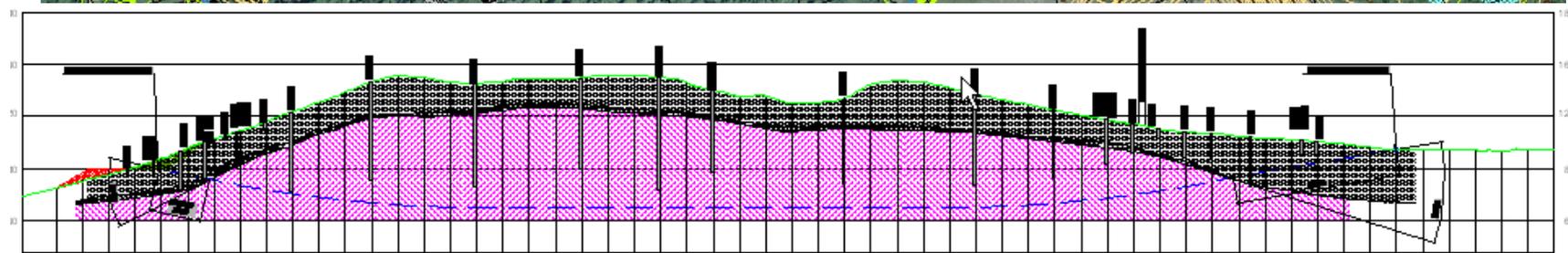
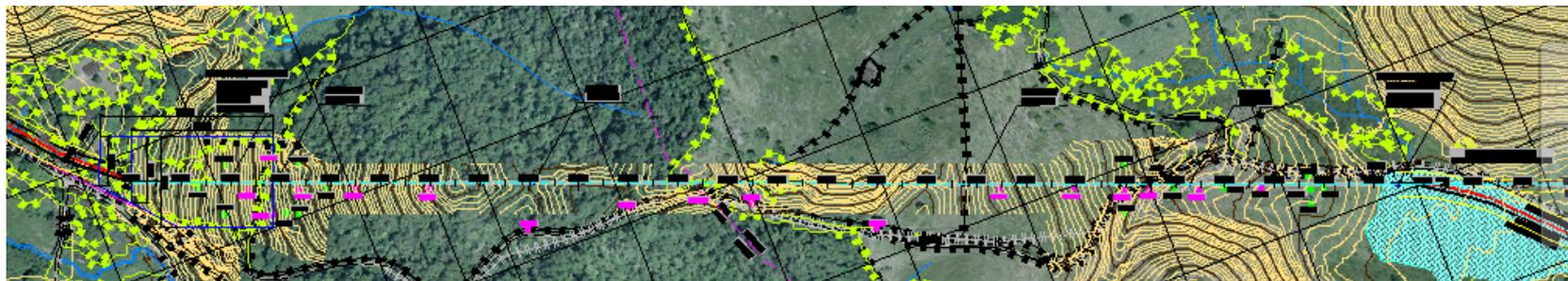


Durante a execução do Furo Piloto Investigativo foi constatada a perda de circulação ocasionada possivelmente, de acordo com os geólogos, por uma falha geológica. É aconselhado o aumento da profundidade do furo de modo a tentar o desvio da falha encontrada. Recomendamos ter na locação estoque de material específico para combate a perda de circulação conforme realizado no Furo Piloto Investigativo.

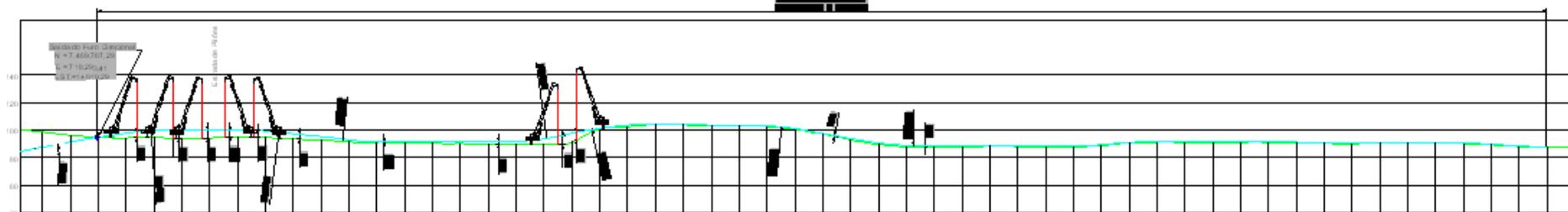
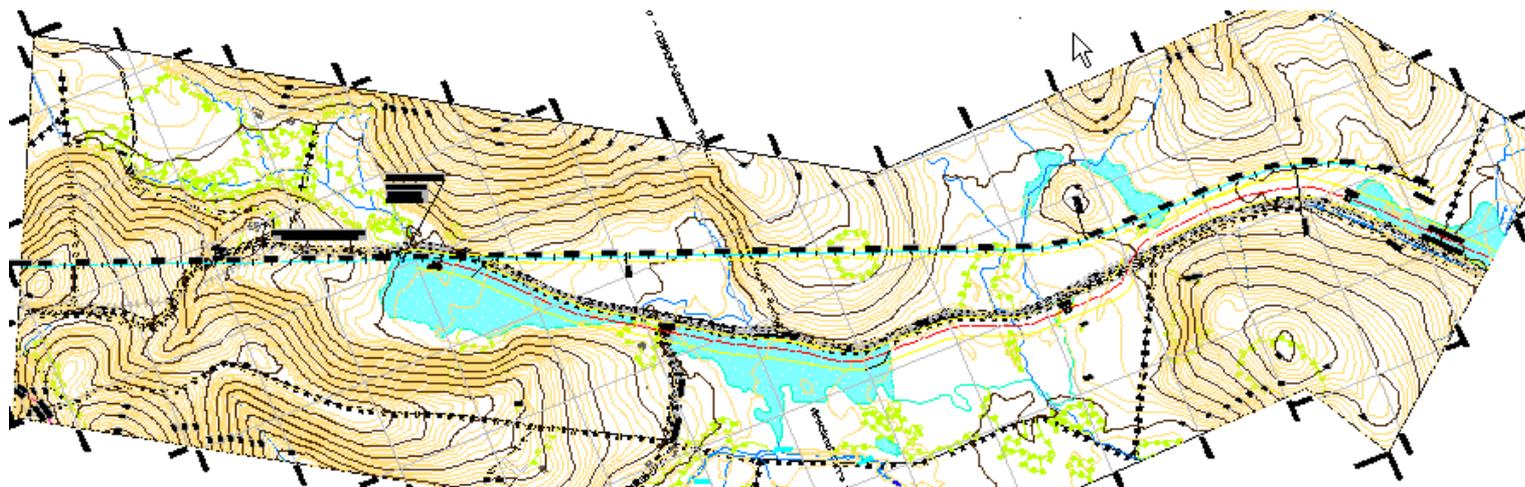
No decorrer da perfuração foi utilizado basicamente jato, 2 (duas) brocas MT's código IADC 337, devido ao tipo de solo encontrado, porém ficaram evidenciados trechos de maior dureza e a necessidade de utilização de motor de fundo para prosseguir com a perfuração nesses pontos. Portanto faz-se necessária a utilização das duas configurações de BHA informadas no Procedimento Executivo.

Projeto do Furo Direcional

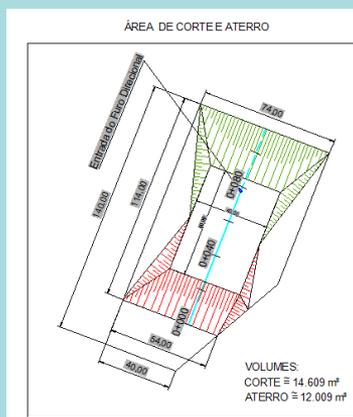
Com base no resultado das investigações, é possível elaborar um projeto mais rico em informações, preparado para as dificuldades que serão encontradas e assim, mais seguro.



Projeto do Desfile da coluna



Terraplenagem do canteiro



4.4. Equipamentos e ferramental

A CONTRATADA deve mobilizar e apresentar um relatório (RL) com plano de manutenção, no mínimo, para os seguintes equipamentos e ferramental:

- Sonda com capacidade mínima de push/pull de 560.000 lbf (250 tf) e torque de 66.000 lbf.ft (9.000 kgf.m);
- Bomba de alta pressão (triplex) com capacidade de vazão mínima de 800 GPM (3.000 l/min);
- Sistema de controle de sólidos (tanques, peneiras vibratórias, desareadores e dissiltadores) com capacidade de fabricar, armazenar e controlar os sólidos em todas as fases do furo;
- Coluna de perfuração API 7G com especificação mínima de: OD 5 1/2" x peso 24,70 lb/ft x classe Premium e grau S135 certificado do fabricante para classe "New" e certificado de inspeção para classe "Premium" e quantidade mínima de 160 (cento e sessenta) drill pipes range II e;
- Dois (2) motores de fundo de no mínimo OD 6 3/4".

4.8.4.2. Programa de brocas e alargadores (PBA)

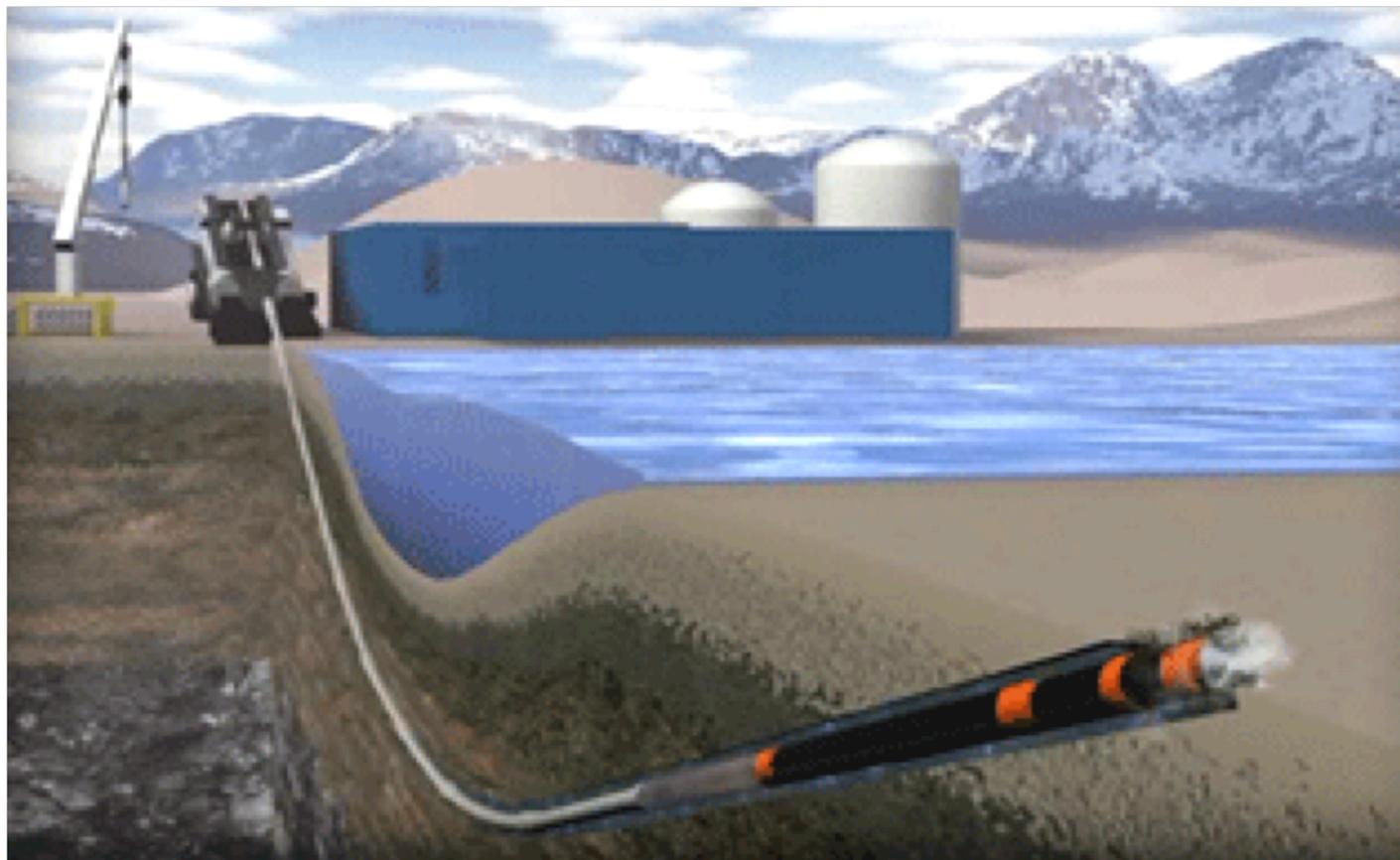
Para execução do furo piloto e dos alargamentos deverá ser mobilizado ferramental no mínimo como segue:

- Uma (1) broca conforme código IADC do tipo MT (Milled Tooth);
- Para cada diâmetro de alargamento programado um (1) alargador para solo;
- Duas (2) brocas TCI (Tungsten Carbide Insert) de código IADC 537 ou superior e com proteção lateral das pernas e;
- Para cada diâmetro de alargamento programado, dois (2) alargadores TCI (Tungsten Carbide Insert) de código IADC 537 ou superior e com proteção lateral das pernas.

4.8.4.1. Consolidação da formação

Como forma de prevenção de possíveis perdas de circulação, aprisionamento de ferramental e afloramentos em superfície do fluido de perfuração durante as fases do furo direcional, será necessário fazer a consolidação da formação a ser perfurada utilizando técnica apropriada.

A Petrobras está sempre buscando a excelência e devido ao risco de seus projetos, pelo seu porte e importância estratégica, tem o objetivo de aprimorar a técnica de HDD, trazendo mais segurança e rentabilidade para a companhia e seus fornecedores.



Obrigada pela atenção!