



Inovação em projeto, execução, controle e sustentabilidade de fundações

Alexandre Duarte Gusmão, D.Sc.

UPE e IFPE

Gusmão Engenheiros Associados

MARÇO DE 2022

RECIFE – PE

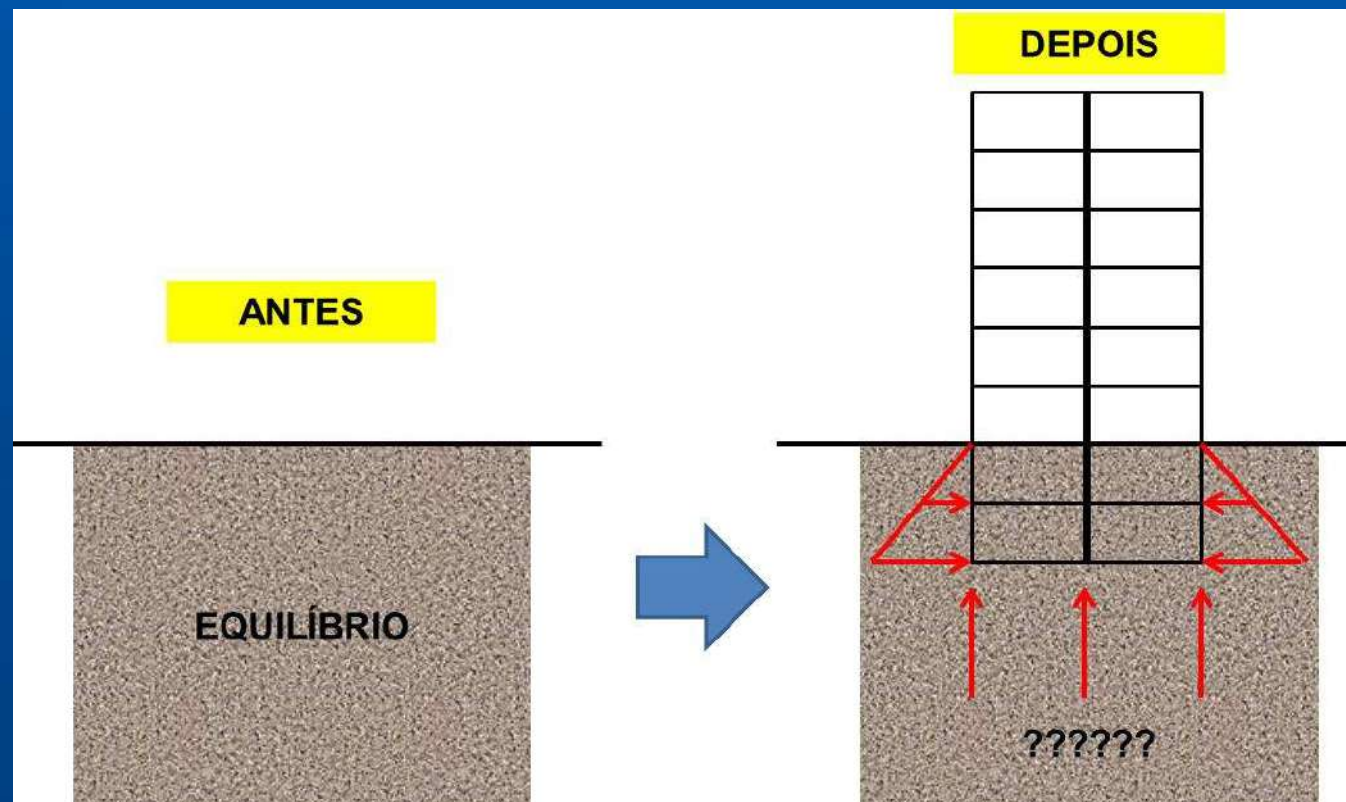
Apresentação

- **Introdução**
- **Inovação em projeto**
- **Inovação em execução**
- **Inovação em controle**
- **Inovação em sustentabilidade**
- **Considerações finais**

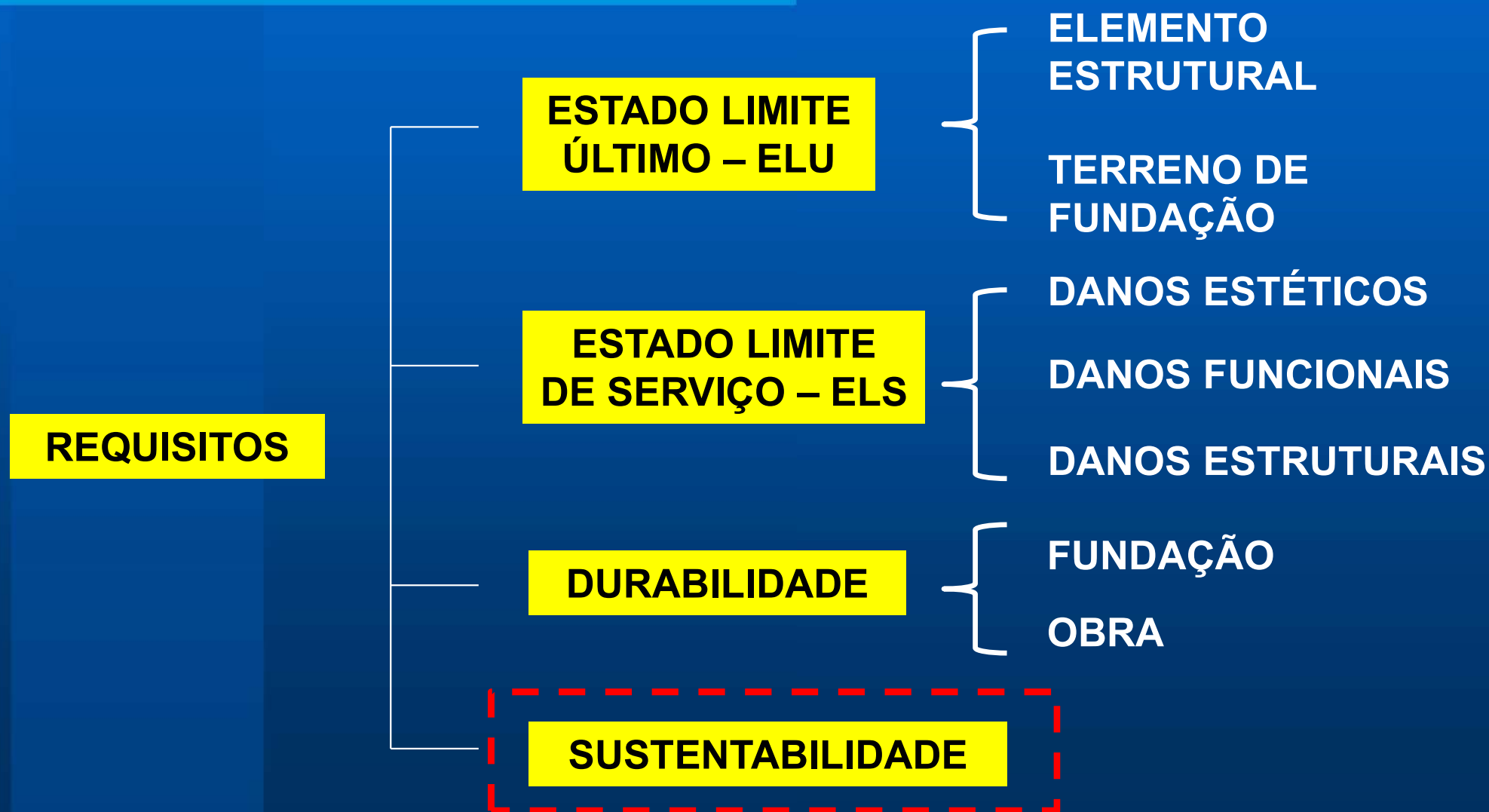
Introdução

Fundação

- São responsáveis pela transferência das cargas da obra ao terreno



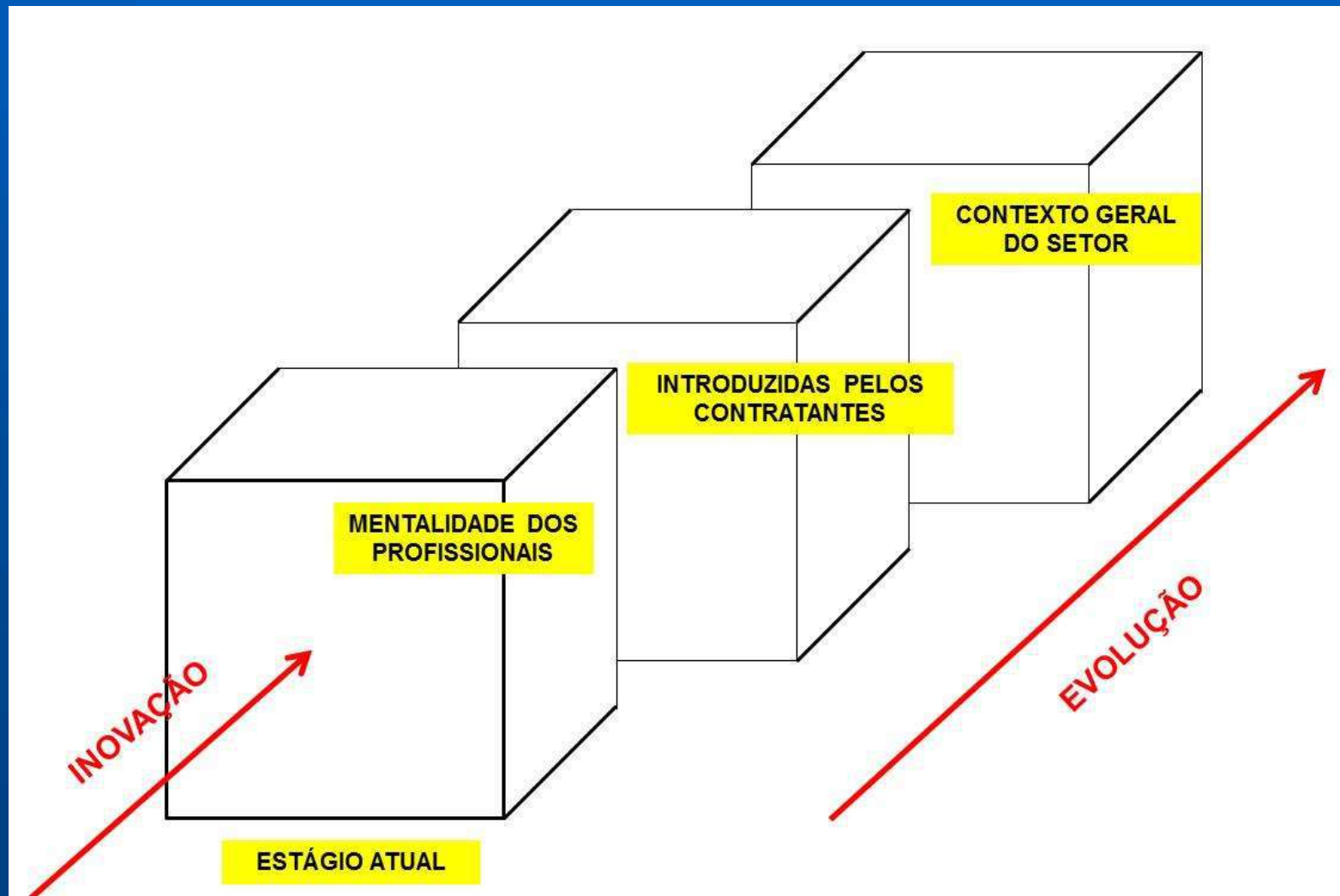
Projeto de fundação



Inovação tecnológica

- **Introdução de** novos processos de produção, **envolvendo gestão de projeto, gestão de suprimentos, gestão de mão-de-obra, gestão da documentação e gestão do canteiro de obras, com** benefícios para a construtibilidade, qualidade, produtividade, desempenho e custos.

Barreiras



Inovação



Etapas

INOVAÇÃO

FUNDAÇÃO

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA

DEFINIÇÃO DO TIPO

PROJETO EXECUTIVO

EXECUÇÃO E CONTROLE

MONITORAMENTO

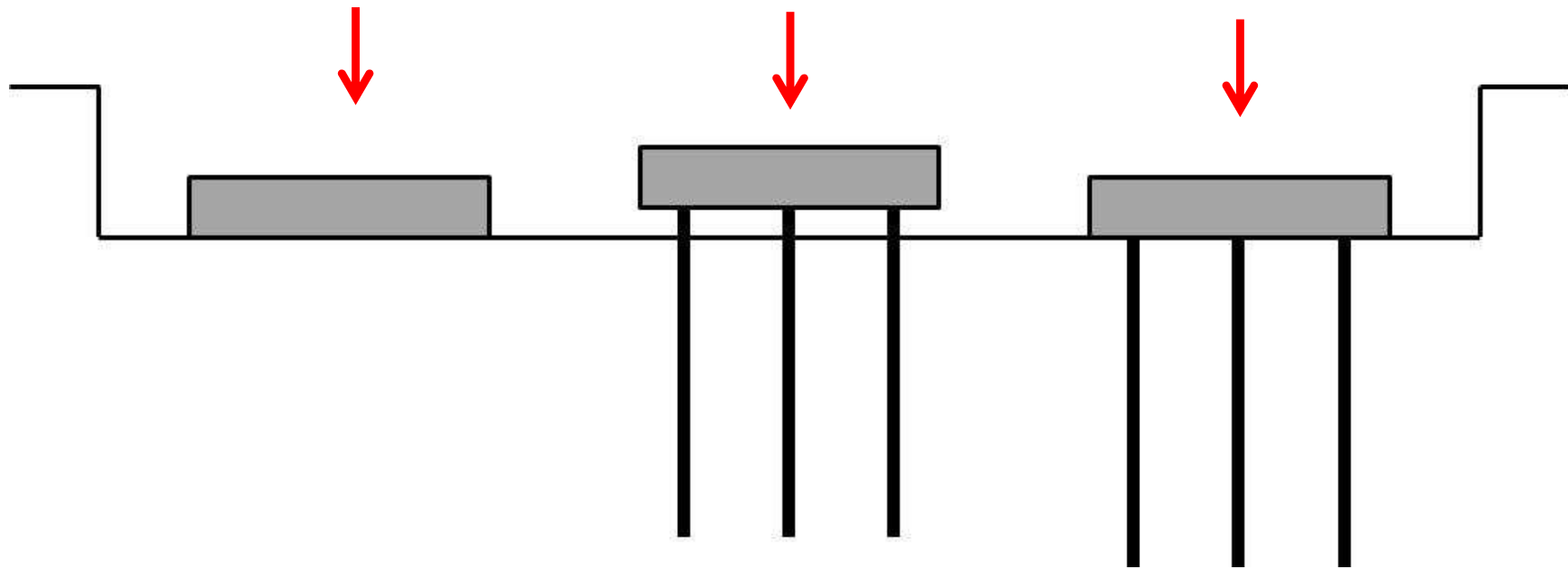
Objetivo

- **Discutir algumas inovações relacionadas a projeto, execução, controle e sustentabilidade de fundações.**



Inovação em projeto

Tipos de fundações



SUPERFICIAL

PROFUNDA

MISTA

Caso de obra 1



Rio Grande do Norte

Parque eólico

- **41 bases para aerogeradores**

- **Fundação:**

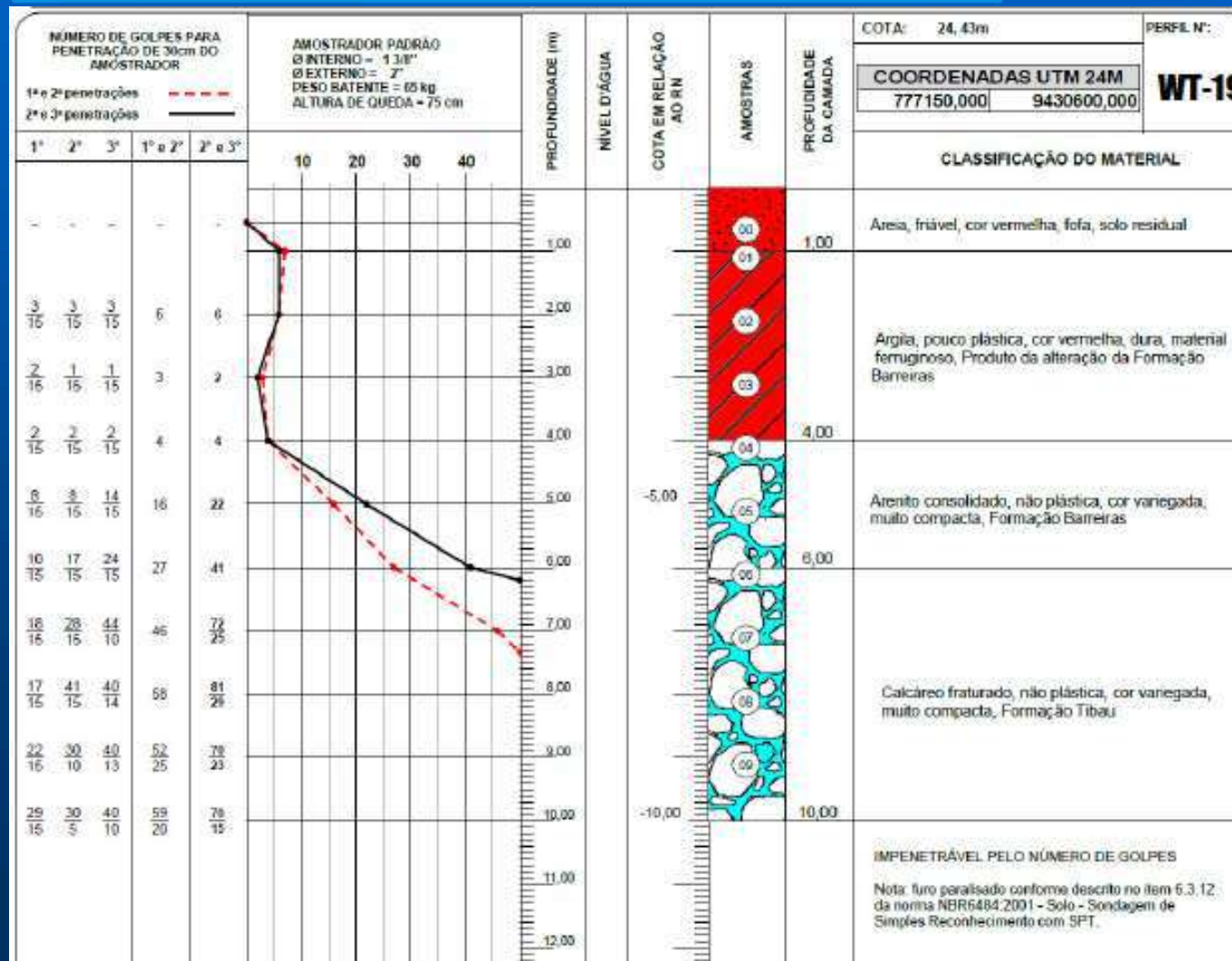
- ✓ **Bloco com 16 estacas: 17x**

- ✓ **Bloco com 20 estacas: 12x**

- ✓ **Bloco com 24 estacas: 13x**



Sondagem a percussão

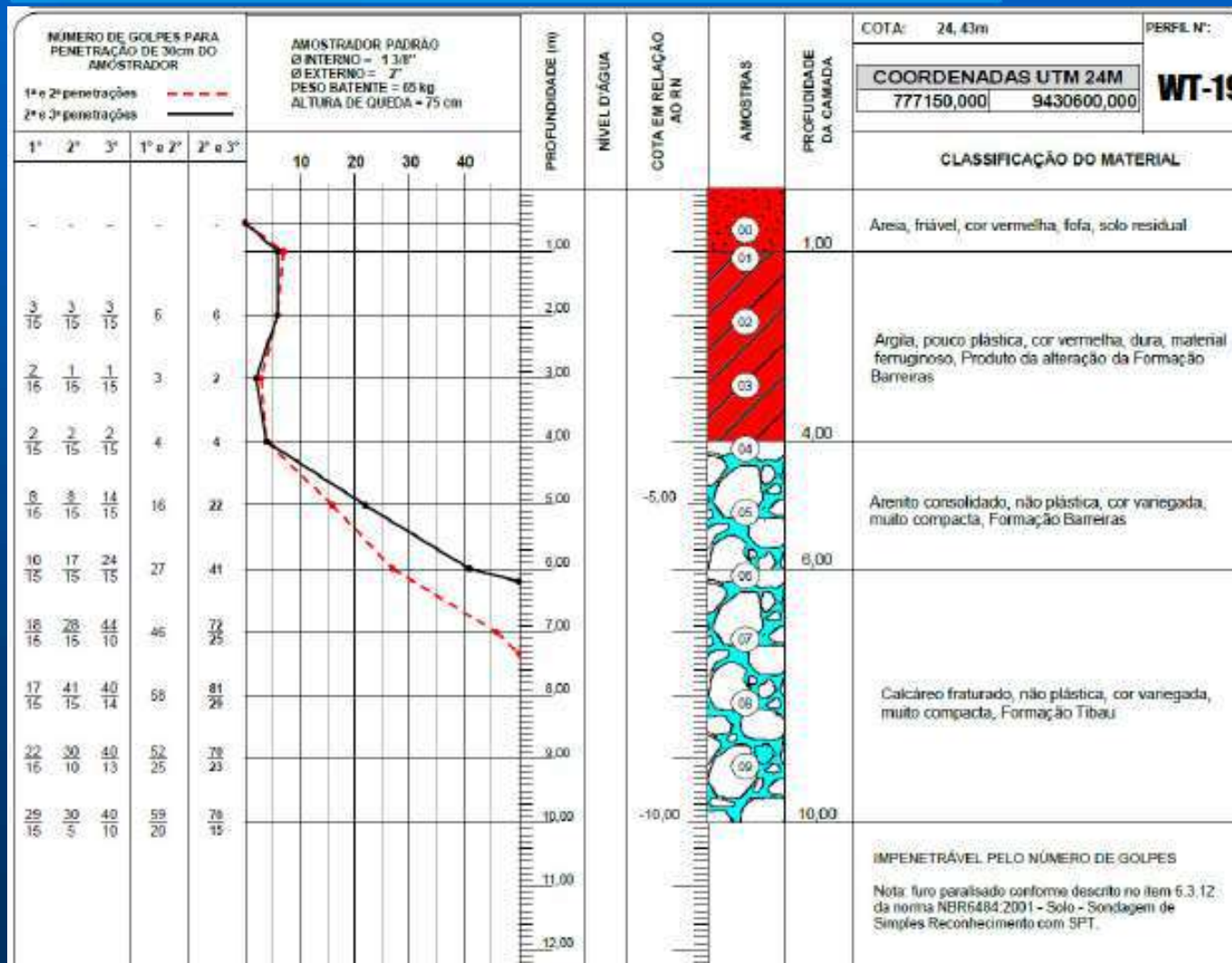


3 m

**AREIA SILTOSA FOFA
A MEDIANAMENTE
COMPACTA**

**ARENITO
CONSOLIDADO COM
CONCREÇÕES**

Fundação em estaca raiz



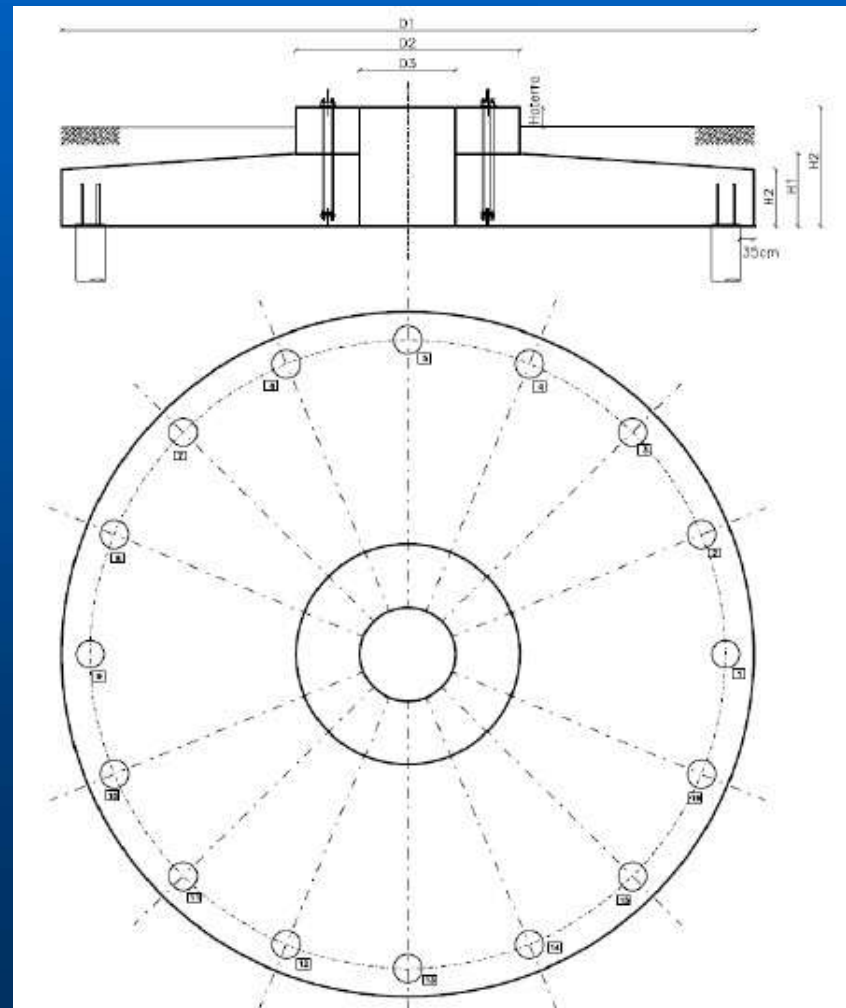
400 mm

310 mm

10 m

Nota: furo paralisado conforme descrito no item 5.3.12 da norma NBR 6484:2001 - Solo - Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT.

Distribuição das estacas



Distribuição das estacas



Cargas de projeto

Cargas Máximas do Bloco de 24 estacas	
Cargas	Carga (t)
Vertical máxima extrema	107,3
Vertical máxima operacional	83,0
Tração máxima	12,0
Horizontal máximo	1,60

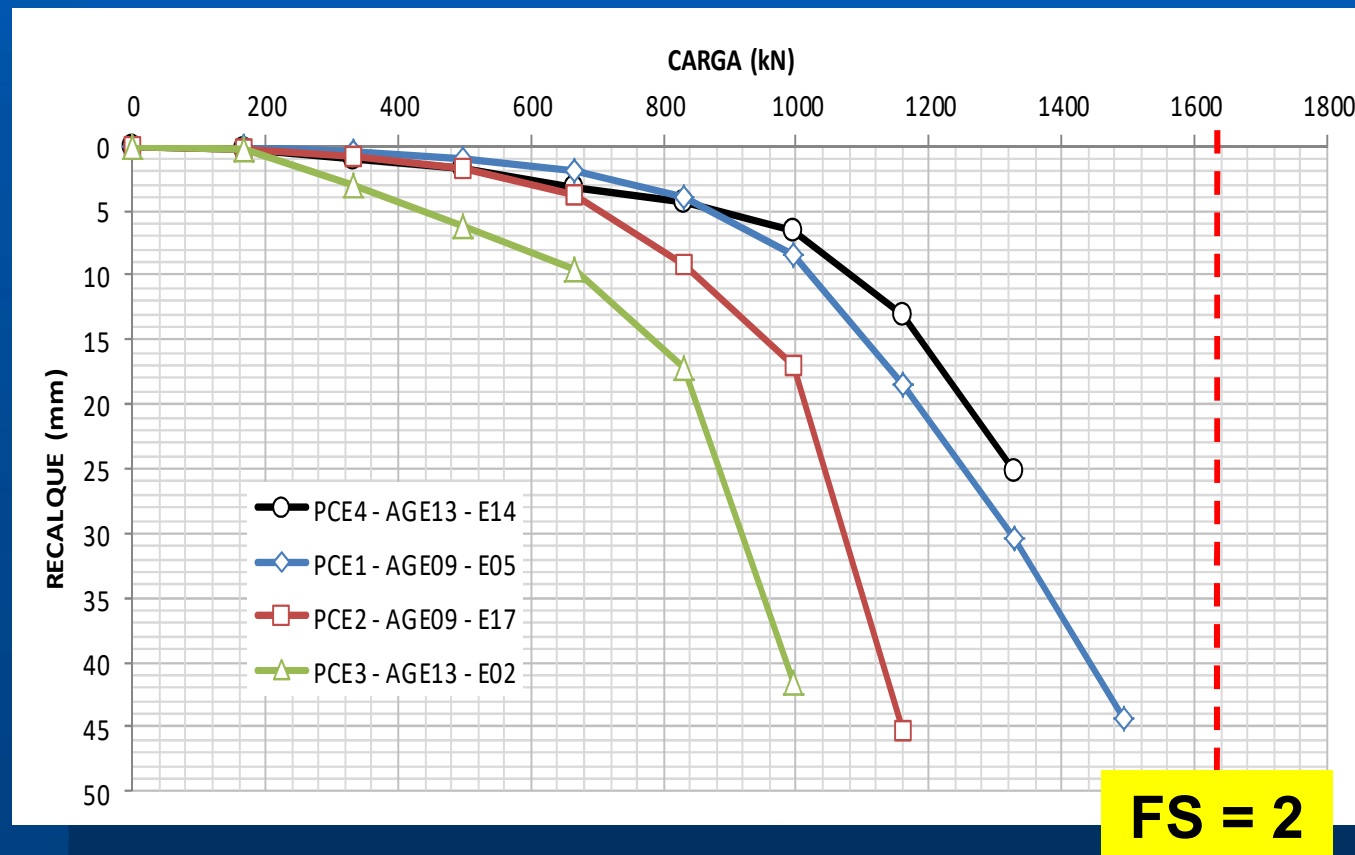
REQUISITO DE PROJETO



$$V_{rup} \geq 2 \cdot 83 = 166 \text{ tf}$$

Prova de carga estática

- **04 ensaios: AGE-09 (2x) e AGE-13 (2x)**



Prova de carga estática



Quadro II – Carga de Ruptura das Estacas

PCE	CARGA DE RUPTURA (kN)	a (mm ⁻¹)	b
01	1.626	0,0484	0,3398
02	1.171	0,1008	0,2918
03	1.015	0,0917	0,1368
04	1.531	0,0797	0,2840

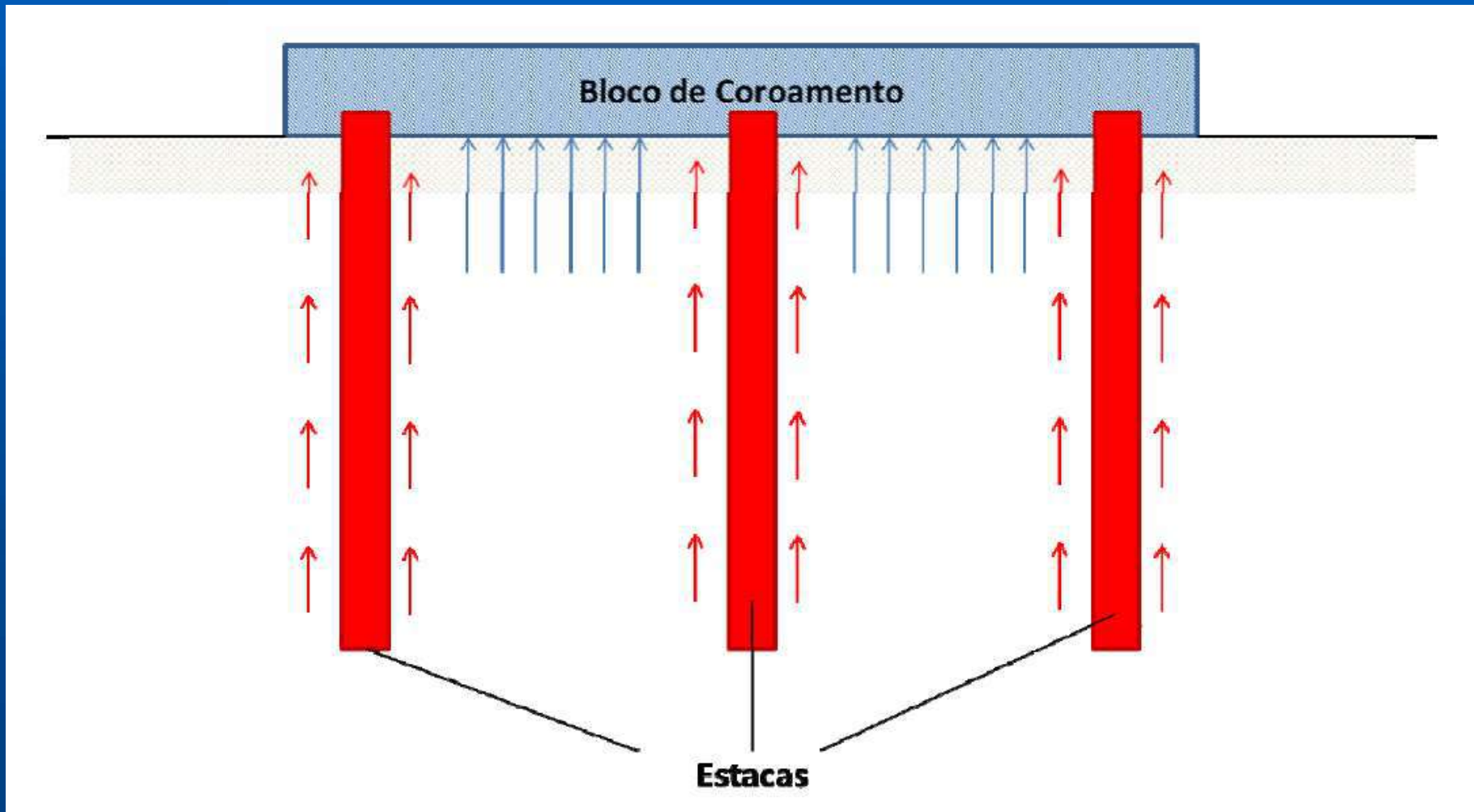
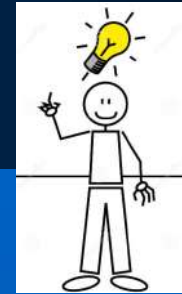


**REFORÇO DA
FUNDAÇÃO =>
TEMPO / \$\$**



INOVAÇÃO

Fundação mista



Rigidez da estaca

Quadro III – Rigidez das Estacas

PCE	Resistência Lateral (kN)	Rigidez das Estacas (kN/mm)
1	796,00	227,429
2	766,00	218,857
3	667,00	190,571
4	378,00	108,000

Rigidez do bloco

$$K_s = \frac{q}{s} = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_s \cdot I_d \cdot I_h} \quad (3)$$

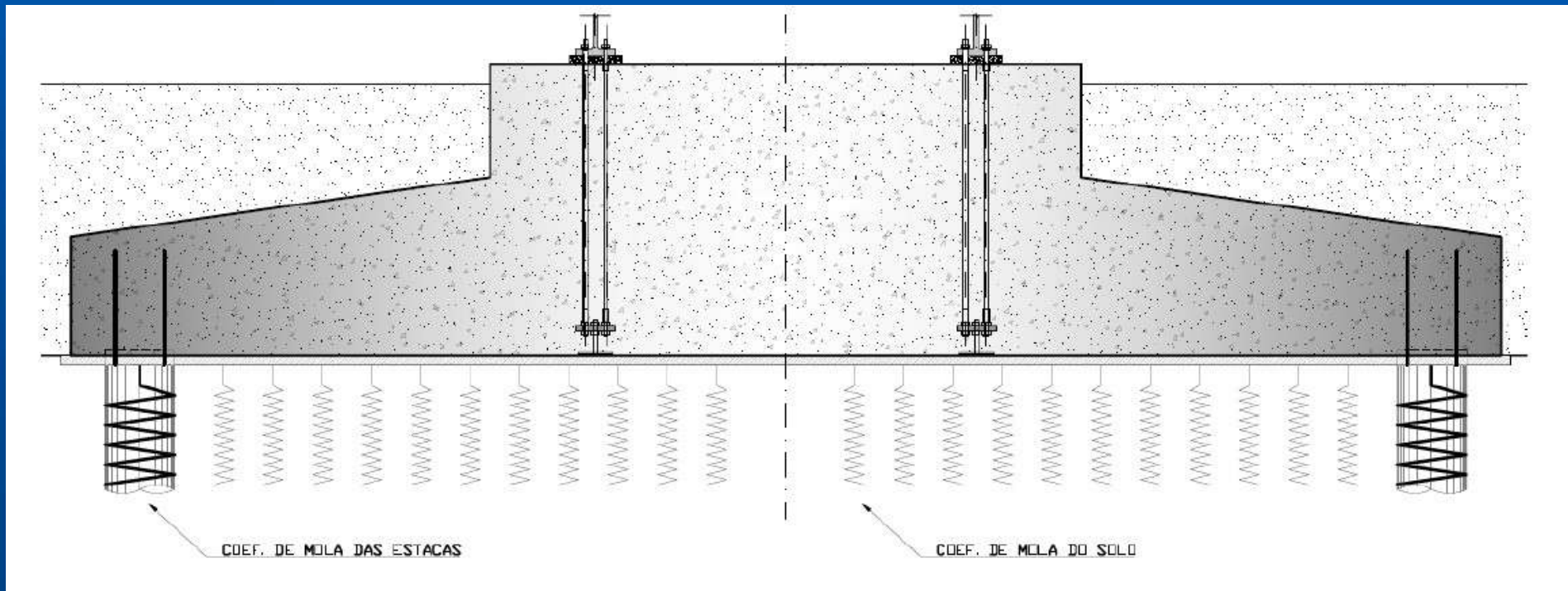
Para o cálculo da rigidez foram assumidas as seguintes hipóteses:

- O valor do módulo de elasticidade foi obtido com base no método proposto por Teixeira e Godoy (1996), adotando-se o solo como uma argila arenosa de N_{SPT} médio igual a 17 golpes/30cm, sendo encontrado então o valor de 35.700 kN/m²;
- O coeficiente de Poisson foi tomado igual a 0,3, que é típico para os solos presentes nas sondagens;
- Os valores dos fatores de correção (I_s , I_d e I_h) foram obtidos através das tabelas apresentados em Velloso e Lopes (2004). O valor de I_d é igual a unidade, e o produto $I_s \cdot I_h$ é igual a 0,242.

Para os tais valores, tem-se que a rigidez do bloco de coroamento é igual a 11.027,93 kN/m³.

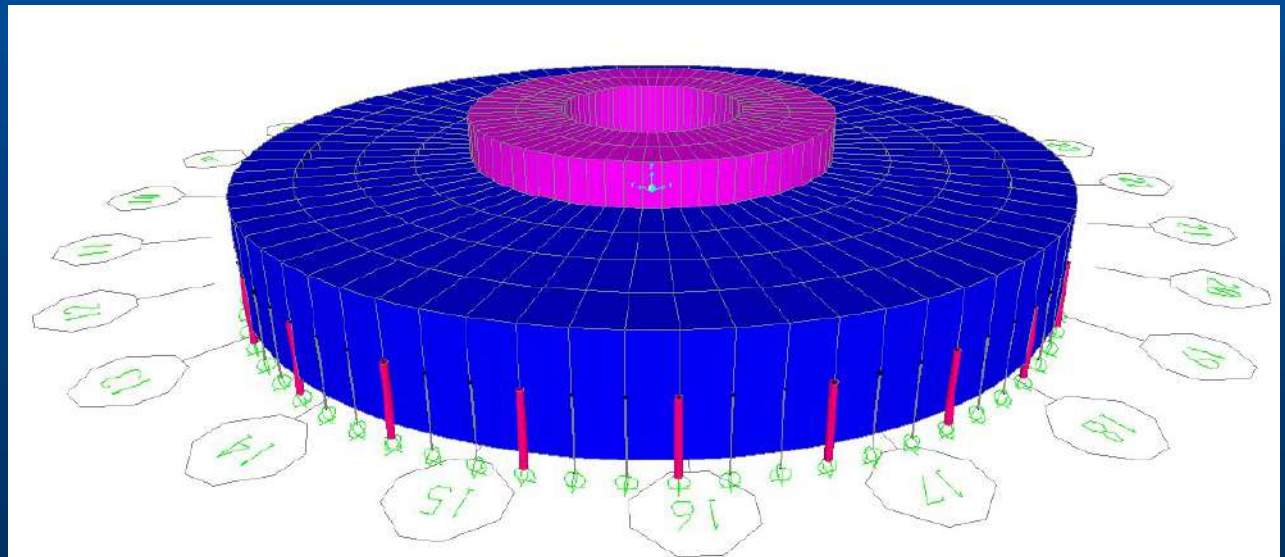
Simulação numérica

- **Modelo conceitual**



Simulação numérica

- **SAP 2000**
- **Rigidez da estaca:**
 - ✓ Máxima
 - ✓ Média
 - ✓ Mínima



Resultados

- **Cargas nas estacas:** compatíveis com os resultados das provas de carga
- **Deslocamentos máximo:** 7,5 mm

	EXTREMA				OPERACIONAL			
%Estacas	100%	74%	71%	60%	100%	75%	72%	62%
%Solo	0%	26%	29%	40%	0%	25%	28%	38%

MISTA

MISTA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

COMPORTAMENTO DE RADIERS ESTAQUEADOS COMO FUNDAÇÕES DE AEROGERADORES DE ENERGIA EÓLICA

ANA PAULA SOBRAL DE FREITAS

ORIENTADOR: OSVALDO DE FREITAS NETO, D.Sc.

CO-ORIENTADOR: ALEXANDRE DUARTE GUSMÃO, Ph.D.

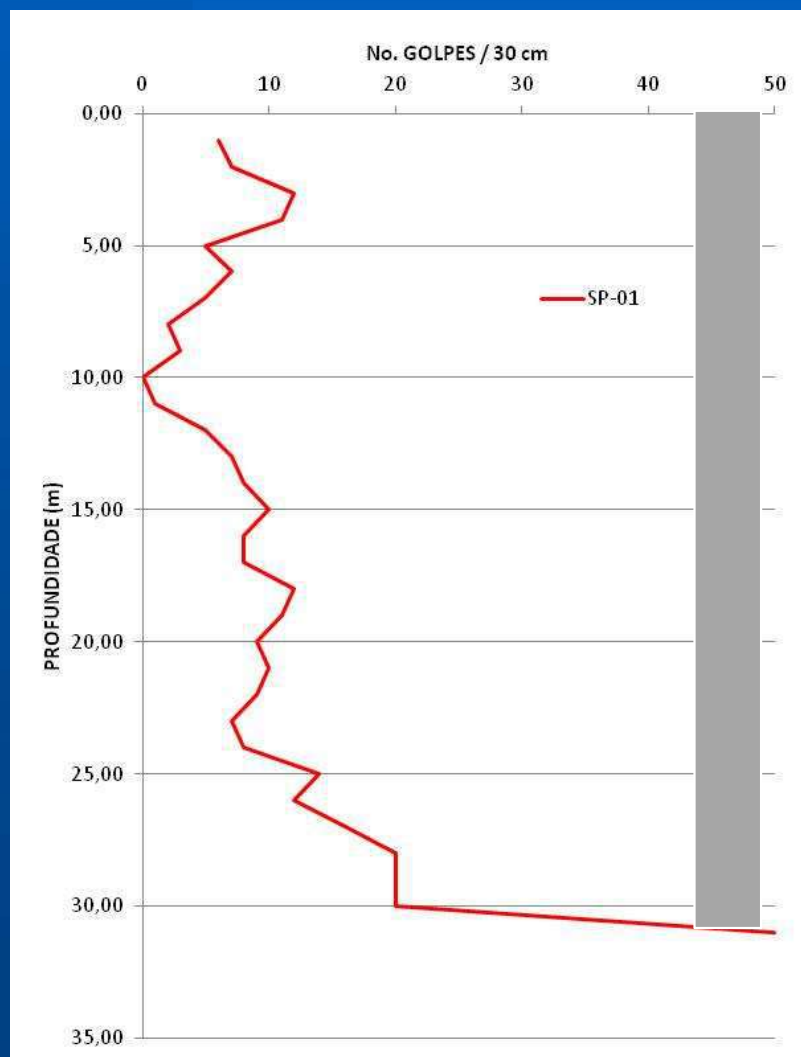
Inovação em execução

Caso de obra 2

- **Condomínios A e B: 06 torres**



Caso de obra 2



AREIA FINA
SILTOSA

ARGILA SILTOSA
COM AREIA FINA

**905 ESTACAS
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO
L = 30 a 40m**

Martelo de queda livre

QUEDA LIVRE



Martelo de queda livre



**REQUISITO =>
TEMPO**



INOVAÇÃO

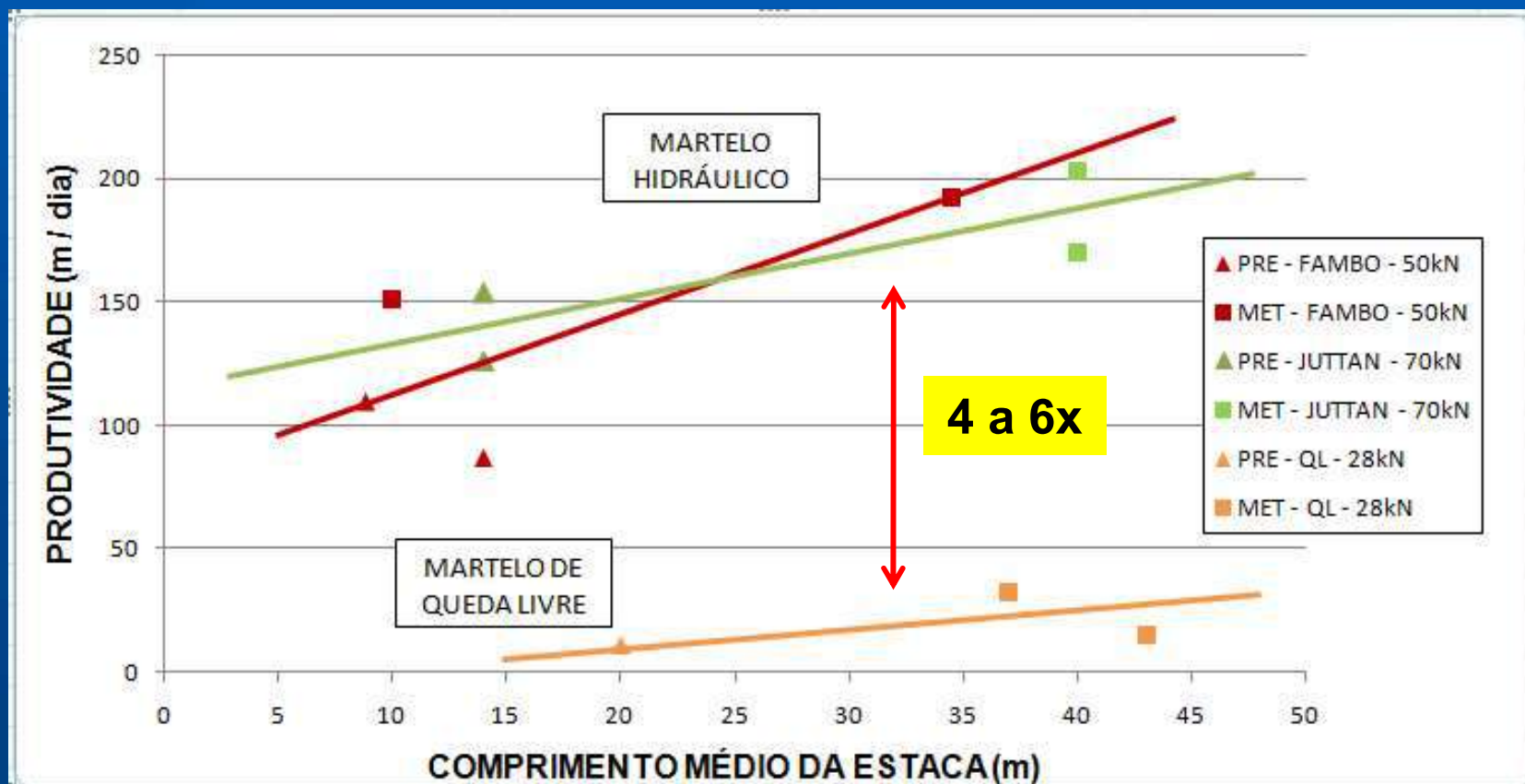
Tipos de martelo



HIDRÁULICO

Tipos de martelo

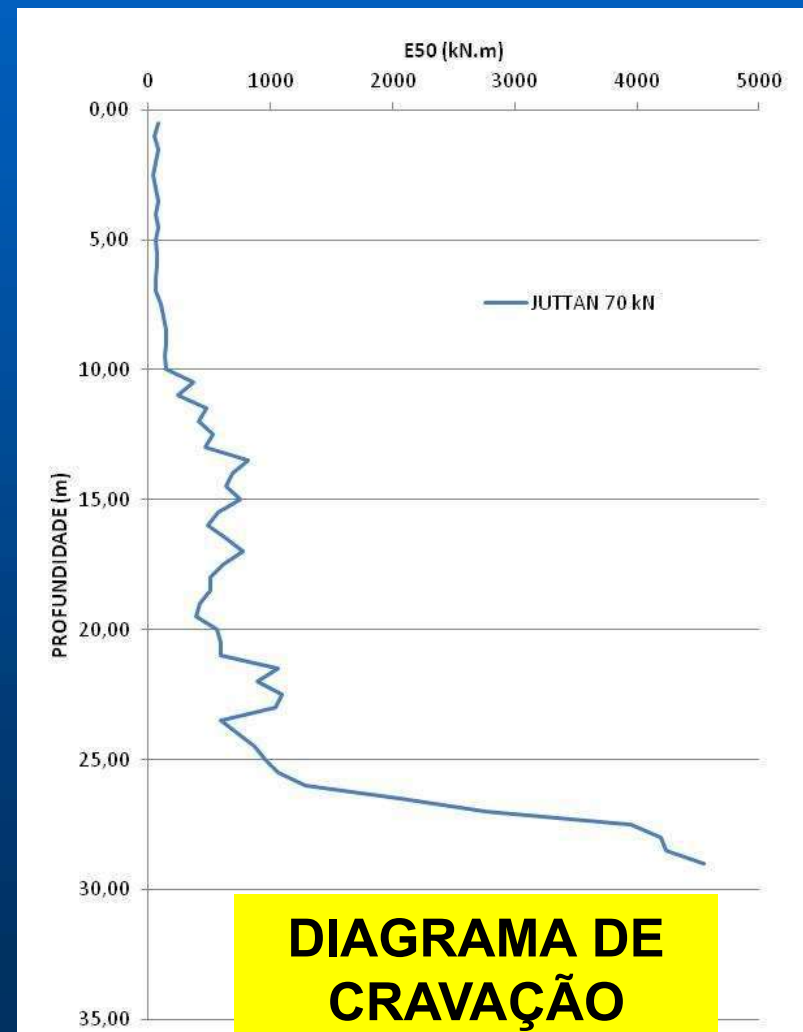
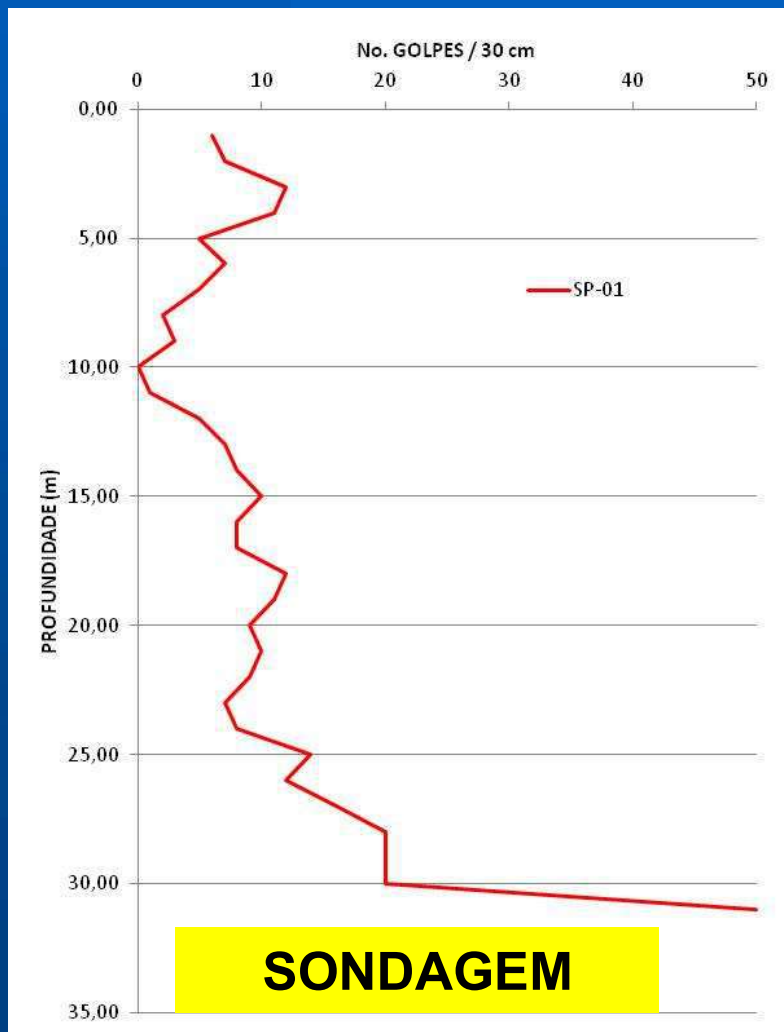
- **Produtividade:** queda livre x hidráulico



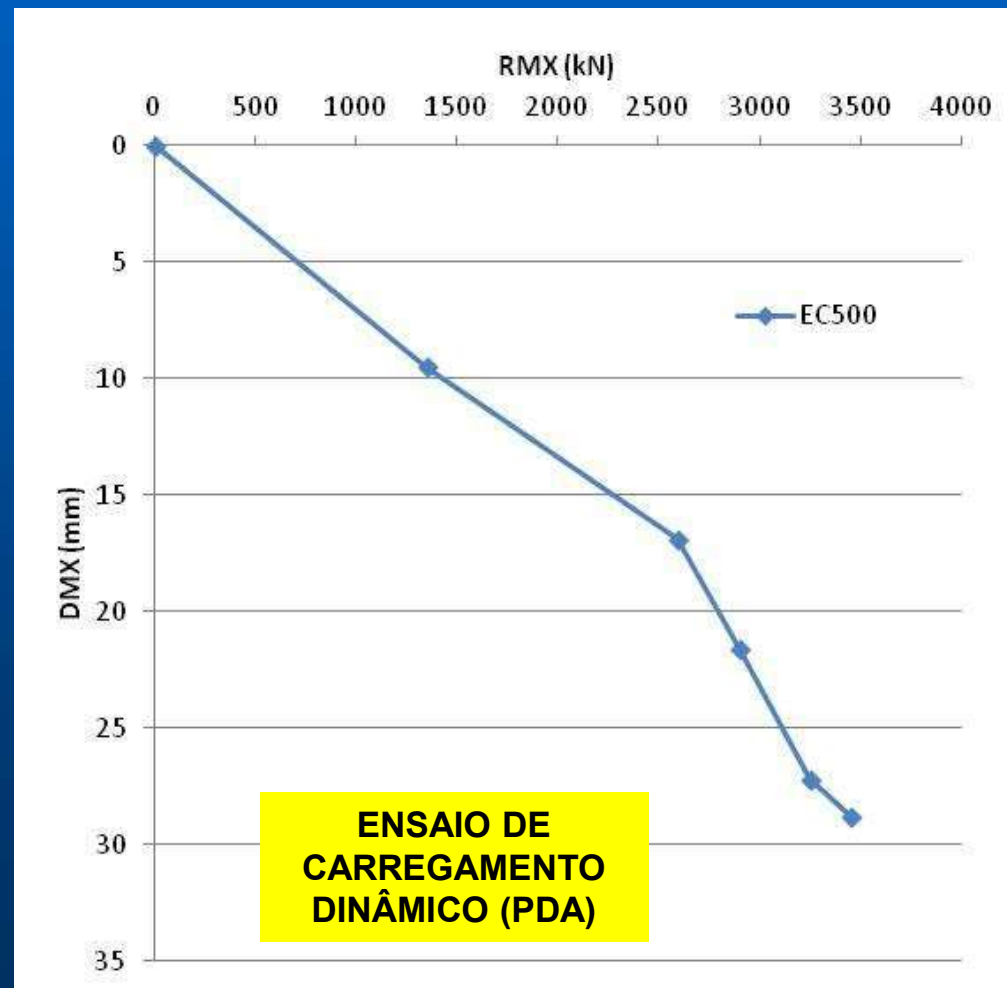
Caso de obra 2



Caso de obra 2



Caso de obra 2



EC500
Vproj = 1.750 kN

Caso de obra 2

- **Condomínio A:**

- ❑ 630 estacas $L = 30$ a 40 m
- ❑ Diâmetro: 400 e 500 mm
- ❑ Produtividade: 149 m / dia

- **Condomínio B:**

- ❑ 305 estacas – $L = 30$ a 40 m
- ❑ Diâmetro: 400 e 500 mm
- ❑ Produtividade: 172 m / dia

Inovação em controle

Caso de obra 3

- **Residencial: 02 torres + 01 garagem**

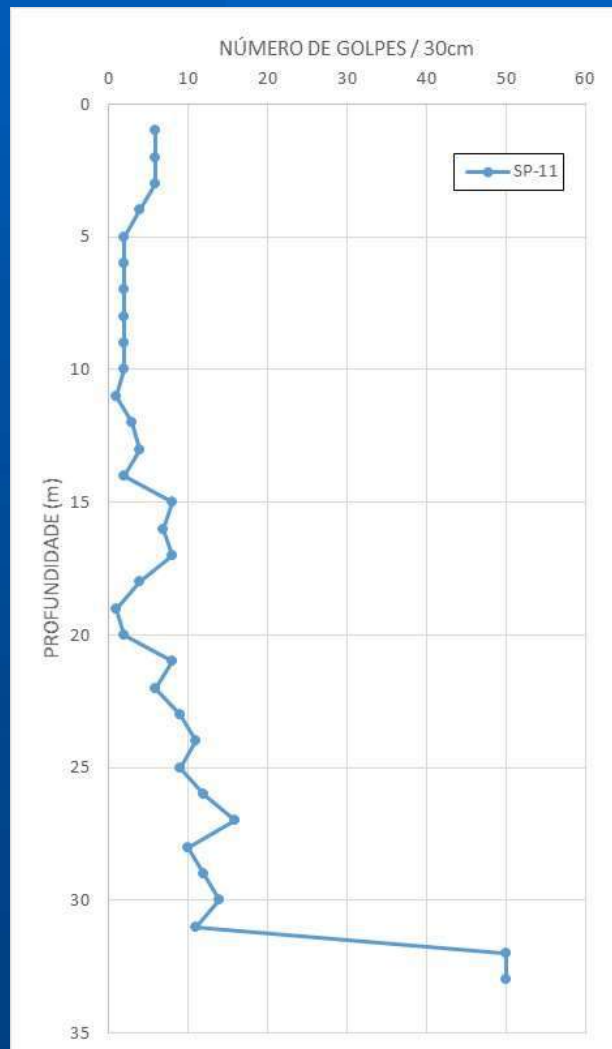
**BLOCOS COM
RISCO ALTO (R3)**

**NOVO
EMPREENHIMENTO**



Fundação

ESTACA METÁLICA
L = 30 a 37m



TIPO DE SOLO

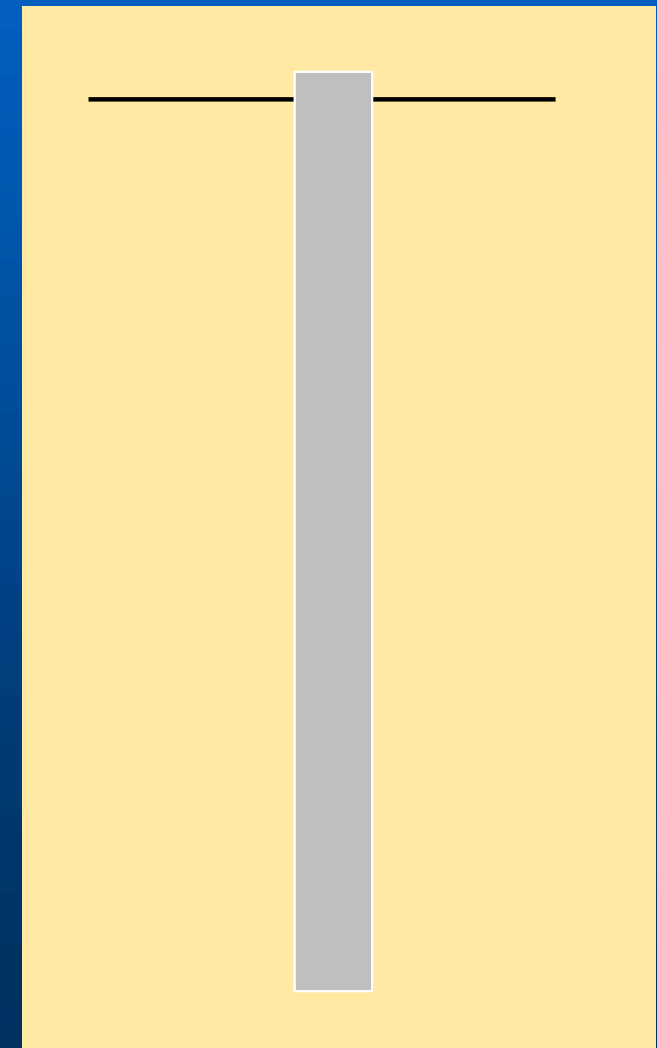
SILTE ARENOSO

ARGILA SILTOSA

AREIA FINA SILTOSA

ARGILA ORGÂNICA

SILTE ARENOSO



Caso de obra 3

AÇÃO JUDICIAL

04 - DO OBJETIVO DA AÇÃO, ORA PROPOSTA.

04.1 – Objetiva a presente Ação, como medida de urgência, impedir que a Empresa Suplicada, com o início das obras de construção do empreendimento vizinho, [REDACTED], notadamente com a possível realização do “Bate-Estaca”, que implementam as fundações, venha com o abalo a ser produzido, por esse procedimento, fazer ruir os diversos Blocos do Condomínio Autor, que, como já dito, se encontram em condições de risco, o que ocasionaria uma enorme tragédia de graves conseqüências, inclusive com risco de vida para os ocupantes das diversas unidades. Criando-se com isso, uma situação - impossível de vir a ser composta de futuro - não sendo do próprio interesse da Demandada que isso venha a ocorrer, é de se crer.

No que tange ao pedido final, objetivará esse, que a edificação “[REDACTED]” não seja iniciada, até que esteja resolvido, de forma técnica e segura à incolumidade das unidades que compõem o Condomínio Autor, contra qualquer risco de desabamento ou prejuízos outros.

Caso de obra 3



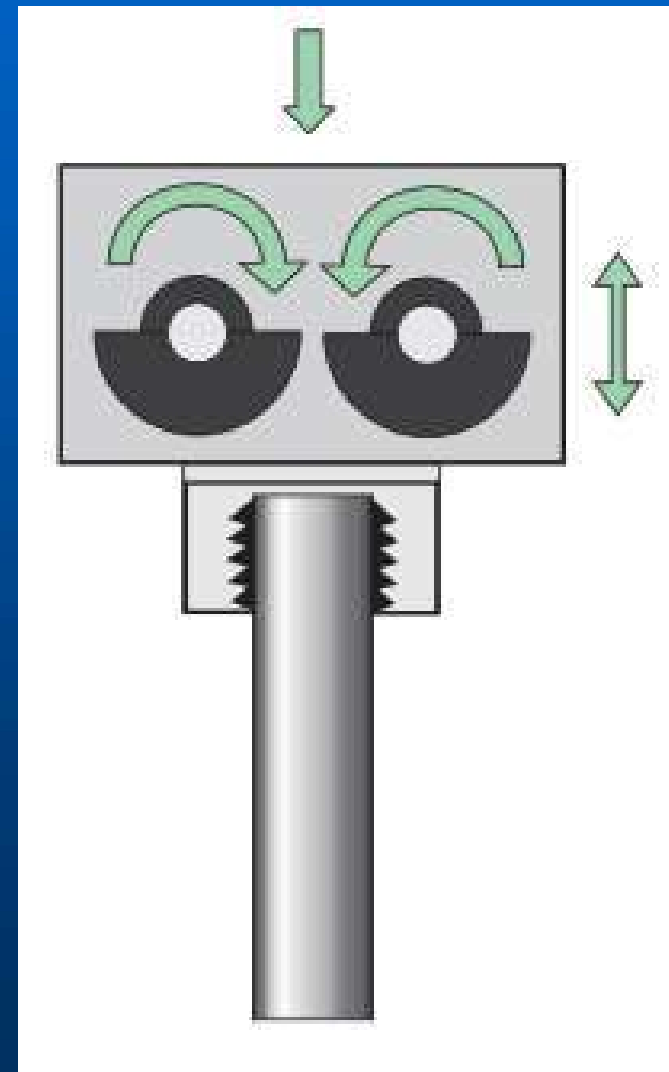
**REQUISITO =>
BAIXA VIBRAÇÃO**



INOVAÇÃO

Caso de obra 3

- **Vibratório**



Caso de obra 3

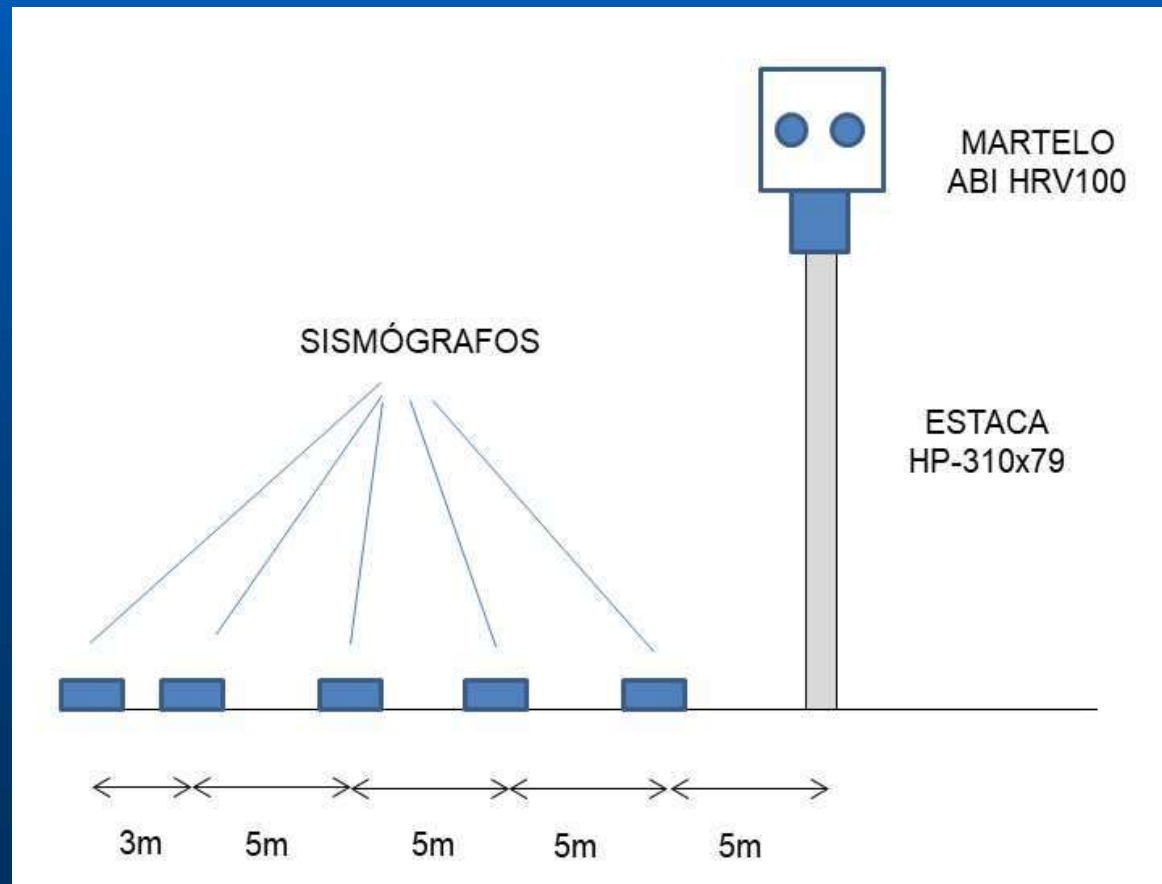
VIBRATÓRIO



Cravação de Estacas com Martelo Vibratório

Monitoramento da vibração

- Sismógrafo

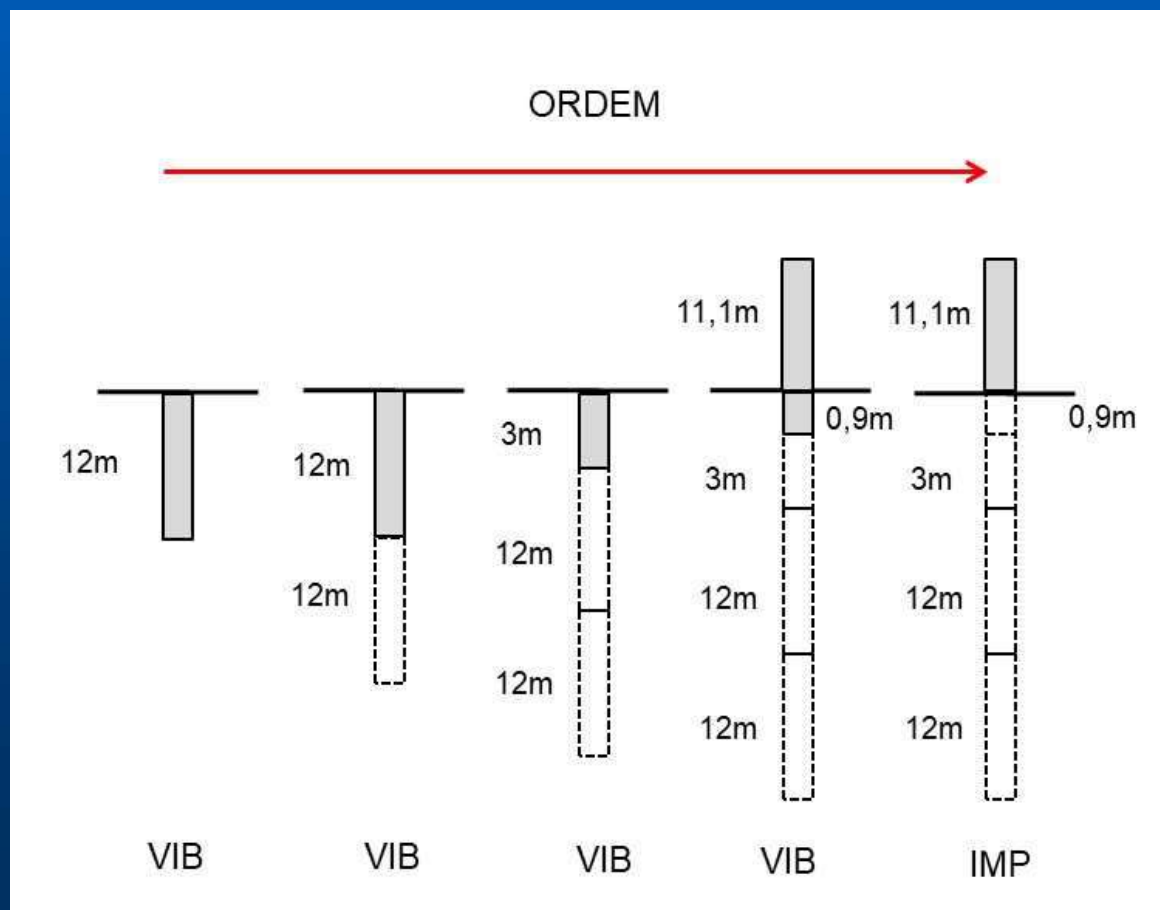


Monitoramento da vibração

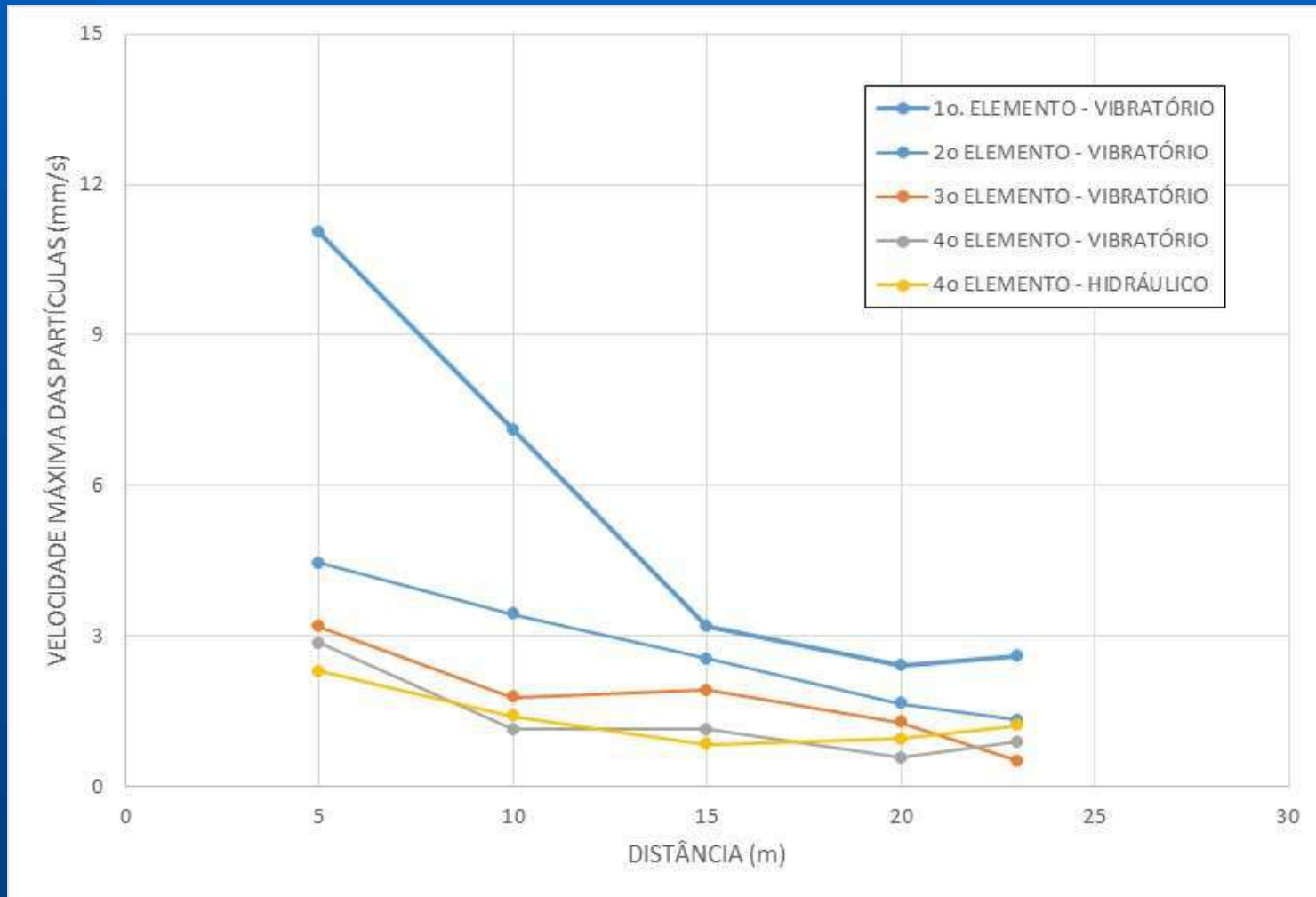


Vibração

- Cravação

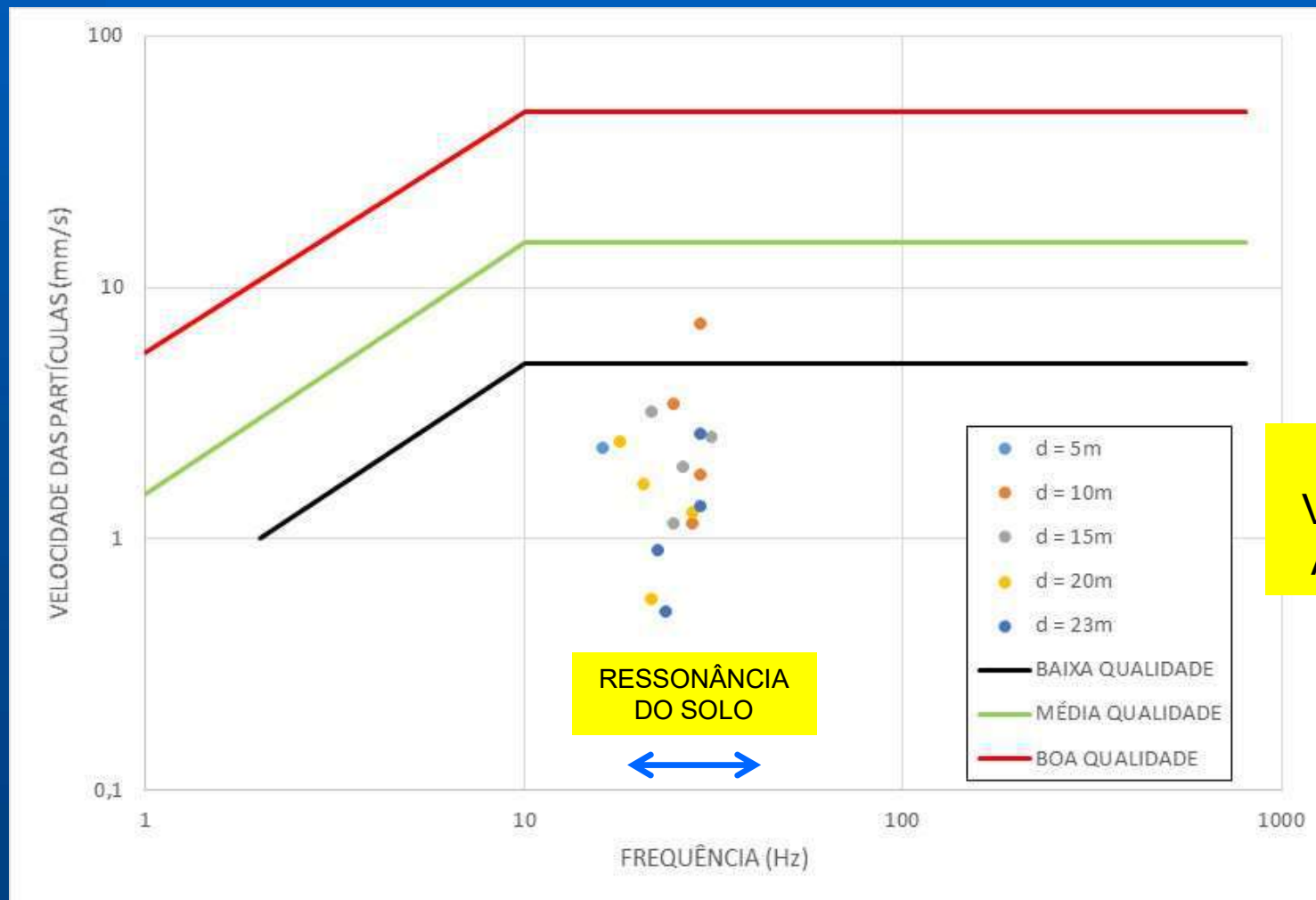


Vibração



Vibração

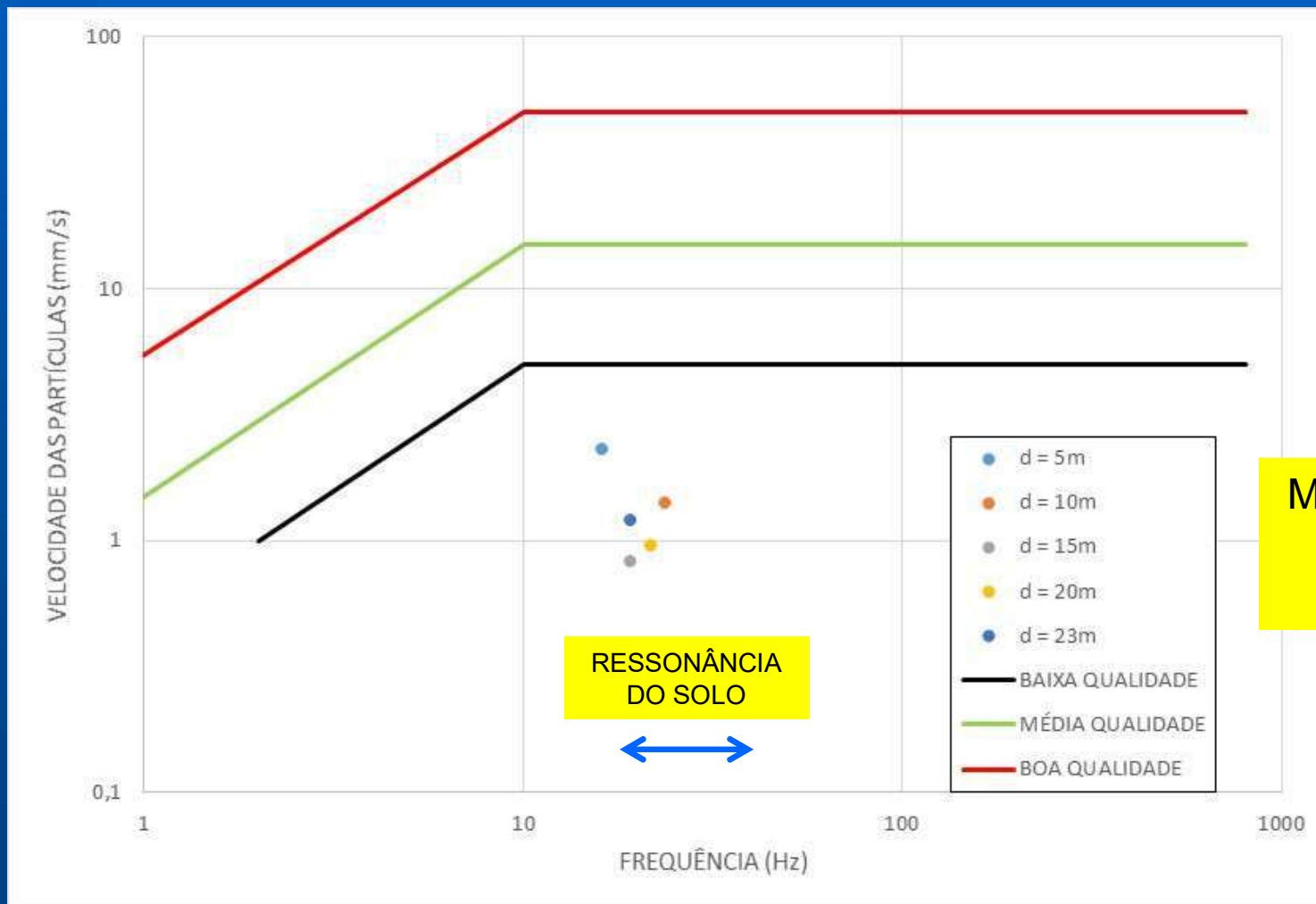
NORMA
FRANCESA



MARTELO
VIBRATÓRIO
ABI HRV100

Vibração

NORMA
FRANCESA



MARTELO DE
IMPACTO
FAMBO 5tf

Caso de obra 3

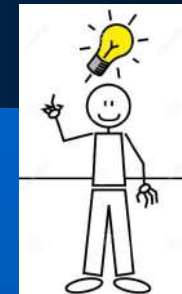


SISMÓGRAFO =>
\$\$\$\$\$\$



INOVAÇÃO

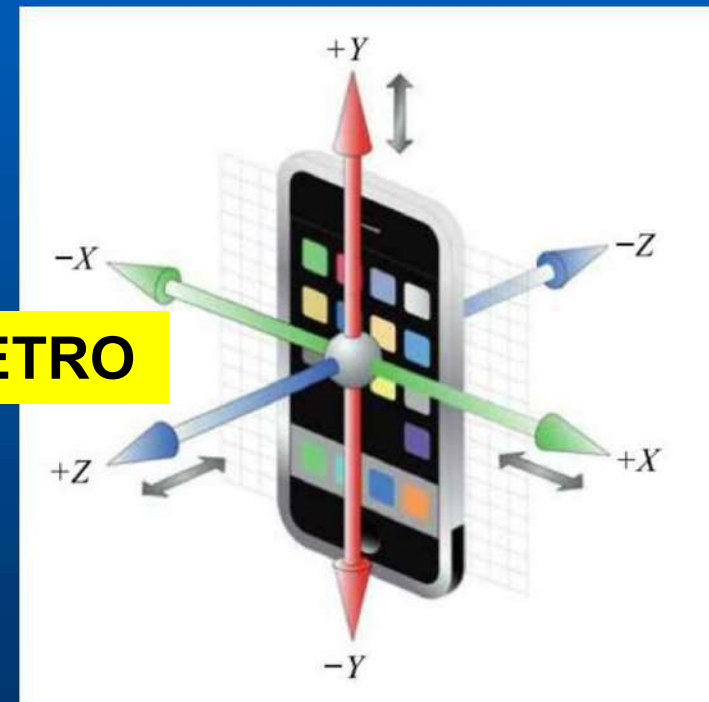
Caso de obra 3



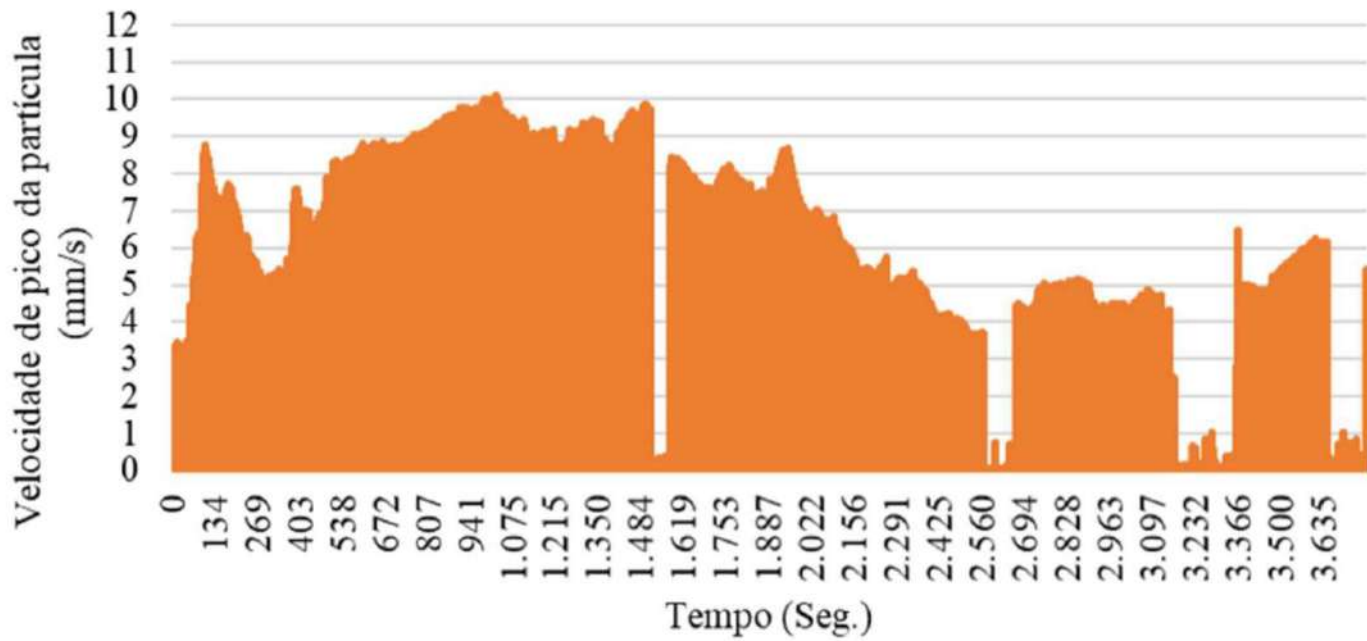
Sensor do

ACELERÔMETRO

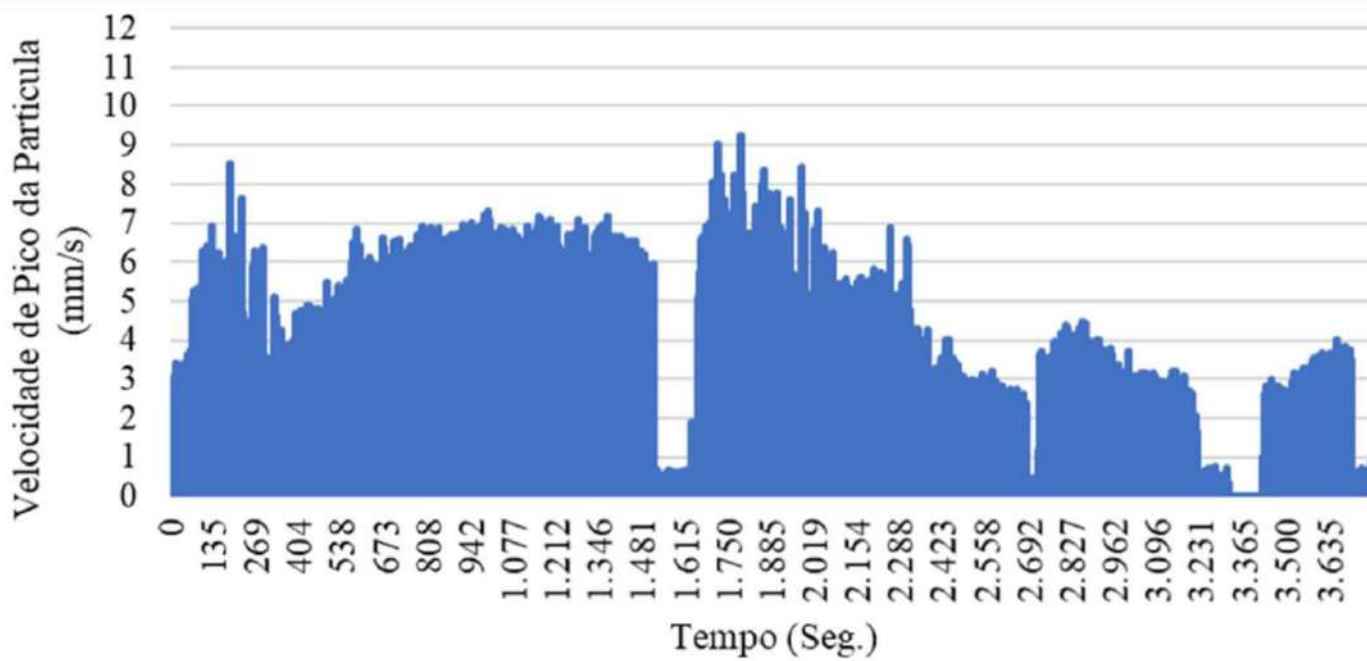
SISMÓGRAFO



SMARTPHONE



SISMÓGRAFO



SMARTPHONE

Desenvolvimento de App

The image displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface titled "Analisador De Vibrações".

Left Screenshot (a): Shows the main form with four dropdown menus:

- Tipo de solo: seleccione u..
- Distância: seleccione u..
- Estruturas: Seleccione u..
- Norma: seleccione u..

At the bottom center is a button labeled "INICIAR".

Right Screenshot (b): Shows the same form, but the "Tipo de solo" dropdown menu is open, displaying three options:

- seleccione uma opção
- arenoso
- argiloso
- siltoso

At the bottom center is a button labeled "INICIAR".

Desenvolvimento de App

The image displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface titled "Analisador De Vibrações".

Left Screenshot:

- Header: **Analisador De Vibrações**
- Form fields:
 - Tipo de solo:** A dropdown menu is open, showing options: 5, 10, 15, 20, 25. The text "selecione uma opção" is visible above the list.
 - Distância:** A dropdown menu with the text "selecione u.." and a downward arrow.
 - Estruturas:** A dropdown menu with the text "Selecione u.." and a downward arrow.
 - Norma:** A dropdown menu with the text "selecione u.." and a downward arrow.
- Button: **INICIAR**

Right Screenshot:

- Header: **Analisador De Vibrações**
- Form fields:
 - Tipo de solo:** A dropdown menu with the text "selecione uma opção" above it.
 - Distância:** A dropdown menu with the text "AASHTO" selected.
 - Estruturas:** A dropdown menu with the text "EUROCODE 3" selected.
 - Norma:** A dropdown menu with the text "AASHTO" selected.
- Button: **INICIAR**

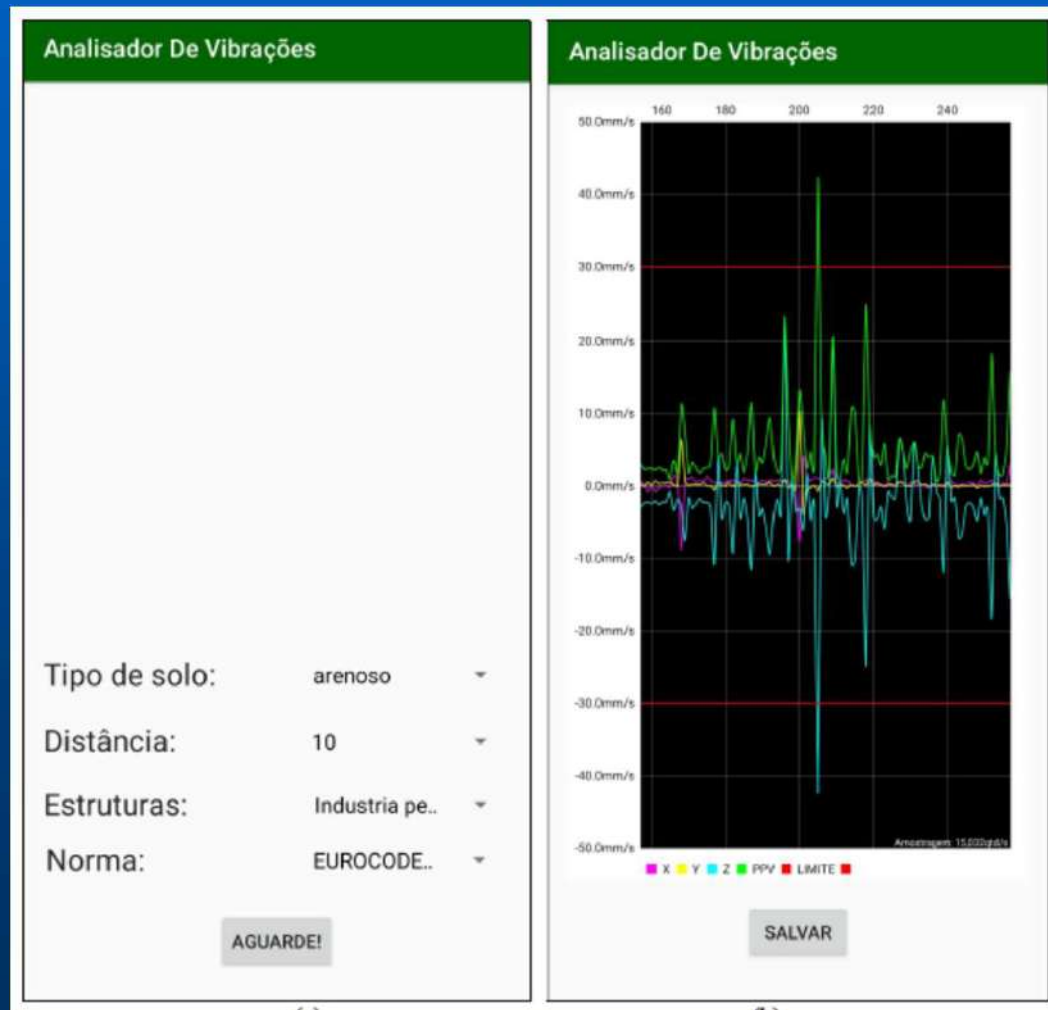
Desenvolvimento de App

The image displays two screenshots of a mobile application interface for vibration analysis, labeled (a) and (b). Both screens show a form with the following fields and options:

- Tipo de solo:** Seleção de opções: Seleccione uma opção, Edf projetada, Edf residencial em bom estado, Edf residencial, Edf Historico/Criticos.
- Distância:** Seleção de opções: Seleccione u..
- Estruturas:** Seleção de opções: Seleccione u..
- Norma:** Seleção de opções: AASHTO.

Both screens feature an 'INICIAR' button at the bottom. Screenshot (a) shows the 'Estruturas' dropdown menu open, and screenshot (b) shows the 'Tipo de solo' dropdown menu open.

Desenvolvimento de App



Desenvolvimento de App





UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

RAMON DUQUE FERRAZ BURGOS

**ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES GERADAS NA EXECUÇÃO DE ESTACAS
MOLDADAS IN LOCO E CRAVADAS**

Inovação em sustentabilidade

Caso de obra 4

- **Shopping center: 256.000 m²**
- **Sistema construtivo: estructura pré-fabricada de concreto armado**



Caso de obra 4

- **Ocupação existente: 07 galpões grandes + 10 edificações + acessos provisórios**



Demolição

- **Resíduos de demolição:**

- **Volume: 16.830 m³**

- **Peso: 23.560 ton (1,4 ton / m³)**

Fundação

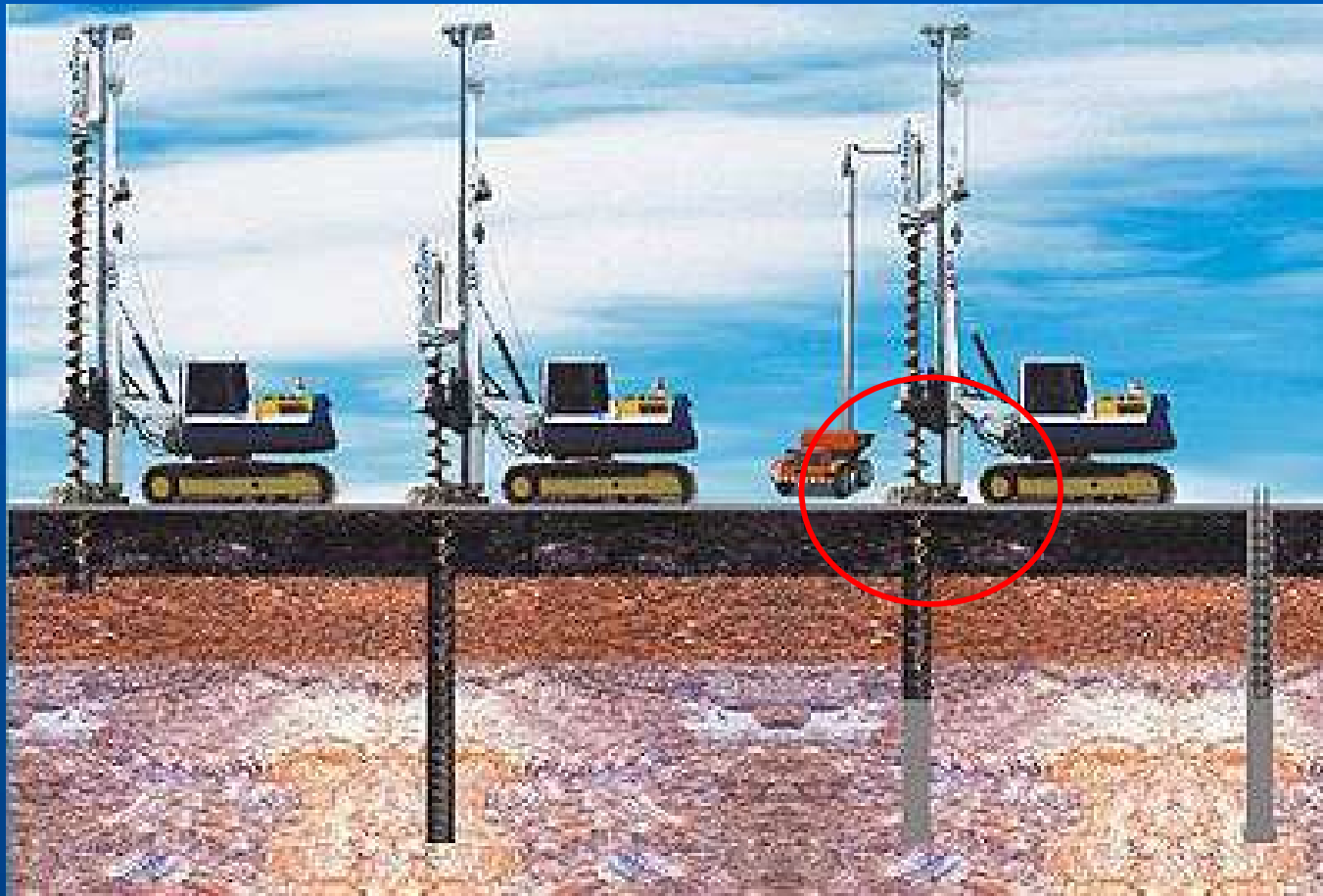
- **Condicionante:** prazo de 20 meses (inauguração em outubro de 2012)



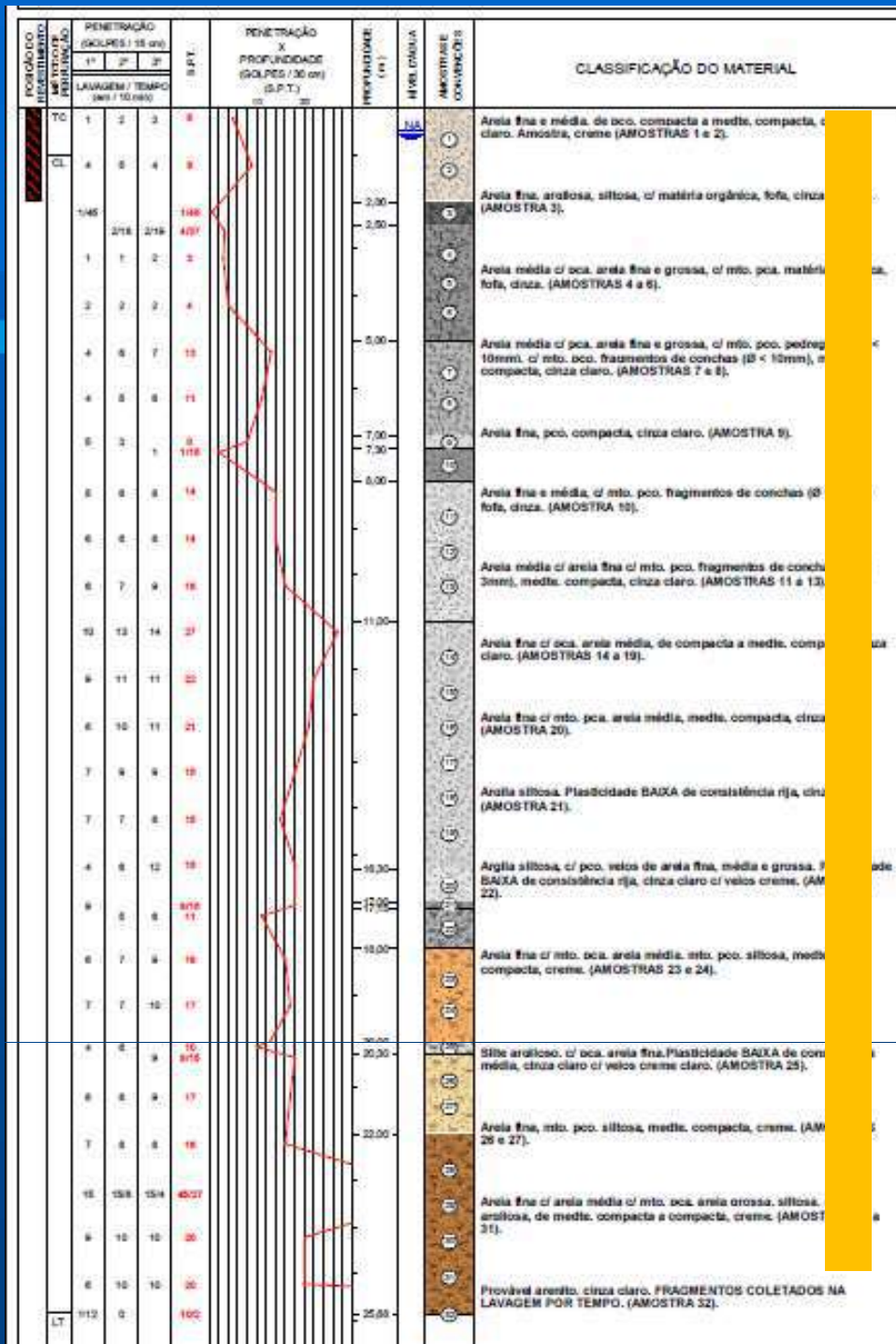
**ESTACA HÉLICE
CONTÍNUA**



Fundação



Execução de estaca hélice contínua



**SOLO
PREPONDERANTEMENTE
ARENOSO**

Fundação

- **4.161 estacas:** 23m de comprimento
- **Diâmetro:** 400, 500 e 600mm
- **Solo de escavação:**
 - **Volume:** 25.013 m³
 - **Peso:** 42.522 ton (1,7 ton / m³)

Destinação final

- **Resíduo de construção:**

- Demolição: 23.560 ton
- Estacas: 42.522 ton
- Total: 66.082 ton

- **Destino:**

- Aterro sanitário: R\$ 58,65 / ton



66.082 x R\$ 58,65 = R\$ 3,9 milhões

Caso de obra 4



**REQUISITO =>
CERTIFICAÇÃO
AMBIENTAL**



INOVAÇÃO

Estudo de viabilidade

**BENEFICIAMENTO DOS
RESÍDUOS**



**PAVIMENTAÇÃO
DO SHOPPING**



**ECONOMIA
VERDE**



Caracterização tecnológica

- **Ensaio de laboratório e experimentos de campo:**
 - **Resíduo reciclado**
 - **Solo da estaca**
 - **Mistura**



**40% RCC RECICLADO
+
60% DO SOLO**

Estudo econômico

Cenário	Situação	Serviço	Material	Volume (m ³)	Custo Unitário (R\$ / m ³)	Custo Total (R\$ / m ³)	
2	Aquisição	Regularização	Areia para aterro	32.132	30,00	963.960,00	
		Sub-base (flexível)	Areia para aterro	5.392	30,00	161.760,00	
		Sub-base (rígido)	BGS	4.397	43,02	189.158,94	
		Base	BGS	3.788	43,02	162.959,76	
	Disposição Final	Aterro de inertes	RCC bruto	16.830	38,71	651.489,30	
		Usina de beneficiamento	Solo da estaca	25.036	99,71	2.496.339,56	
	Total						4.625.667,56

Estudo econômico

Cenário	Situação	Serviço	Material	Volume (m³)	Custo Unitário (R\$ / m³)	Custo Total (R\$ / m³)
5	Aquisição	Regularização	Mistura 40% RCCR + 60% solo das estacas	12.853 + 19.279	30,00 --	385.590,00 --
		Sub-base (flexível)	Mistura 40% RCCR + 60% solo das estacas	2.157 + 3.235	30,00 --	64.710,00 --
		Sub-base (rígido)	Mistura 40% RCCR + 60% solo das estacas BGS	1.759 + 2.522 + 116	30,00 -- 43,02	52.770,00 -- 4.990,32
		Base	RCCR BGS	61 + 3.727	30,00 43,02	1.830,00 160.335,54
	Disposição Final	Aterro de inertes	RCC bruto	--	38,71	--
		Usina de beneficiamento	Solo da estaca	--	99,71	--
	Total					

Estudo econômico

- **Cenários:**

- **Convencional: R\$ 4.625.667,56**
- **Uso dos resíduos: R\$ 670.225,86**



**ECONOMIA VERDE
=
R\$ 4 MILHÕES**

Execução



Unidade móvel de beneficiamento dos resíduos

Execução



Resíduo reciclado

Execução



Local de armazenamento do solo das estacas

Execução



Pilha de solo das estacas

Execução



Execução do reforço de subleito

Execução



Execução da sub-base

Execução



Mistura de reciclado e solo compactado

Execução



Estágio da obra em Abril de 2012

Obra concluída



Novembro de 2020



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ANDRÉA BATISTA DE FARIAS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO APLICADOS EM
PAVIMENTAÇÃO**

Considerações finais

Considerações finais

- **A construção civil é dos setores produtivos que tem sido menos beneficiado pelas inovações tecnológicas.**
- **É por isso, um setor muito promissor, devendo se constituir nos próximos anos em um nicho de mercado para profissionais da engenharia e arquitetura.**

Considerações finais

- **A inovação está sempre associada a uma ideia promissora. E todo mundo pode ter uma ideia promissora.**
- **Nada substitui a boa engenharia.**



Muito obrigado pela atenção ...

alexandreduarteagusmao@gmail.com