



COPPE/UFRJ

ANÁLISE NUMÉRICA DE UMA ESTRUTURA DE CAIS POR DOIS MODELOS
DE REPRESENTAÇÃO DO SOLO

Henrique Apolinário Rody

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Francisco Rezende Lopes

Rio de Janeiro
Outubro de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

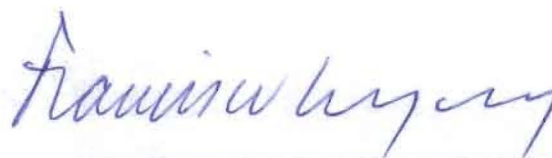
Milhares de livros grátis para download.

ANÁLISE NUMÉRICA DE UMA ESTRUTURA DE CAIS POR DOIS MODELOS
DE REPRESENTAÇÃO DO SOLO

Henrique Apolinário Rody

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

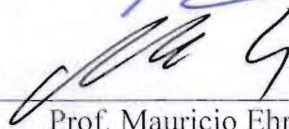
Examinada por:



Prof. Francisco de Rezende Lopes, Ph.D. (Orientador)



Prof. Marcus Peigas Pacheco, Ph.D.



Prof. Mauricio Ehrlich, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2010

Rody, Henrique Apolinário

Análise Numérica de uma Estrutura de Cais por Dois Modelos de Representação do Solo/ Henrique Apolinário Rody. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XVII, 142 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Francisco de Rezende Lopes

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 108-111.

1. Tensão Horizontal de Terra. 2. Estruturas Portuárias. 3. Modos de Representação do Solo. I. Rody, Henrique Apolinário. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. TITULO

Dedico esta dissertação às variáveis relevantes, **TODAS** as
variáveis relevantes e **SOMENTE** as variáveis relevantes

AGRADECIMENTOS

Agradecer a todos que ajudaram a construir esta dissertação não é tarefa fácil. O maior perigo que se coloca no agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar. Então, a meus amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e apoio com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

Duas pessoas merecem um agradecimento especial, embora não sejam cheia de amores entre si, elas terão que conviver unidas lado a lado aqui, são eles a minha mãe, e o professor Paulo Pires, por terem me apoiado e incentivado. Estas sim são variáveis relevantes.

Agradeço ao meu orientador por ser paciente, muito paciente, e compreensivo.

Agradeço ao Engenheiro Ricardo Itabaiana pela sua amizade e apoio nesses últimos meses.

Agradeço aos colegas da Projconsult, pelo suporte, pelas orientações e pelo pronto atendimento (Valeu Ricardo!)

Agradeço a todos os meus colegas do mestrado, meus verdadeiros irmãos aqui na COPPE que me apoiaram nos momentos difíceis (a ainda apoiam *on-line*).

Agradeço a Deus por iluminar o meu caminho e me apresentar estas pessoas que tanto me apoiaram, e o mais importante, por ter criado o café e o guaraná em pó.

Minha esperança é que, compensando o tempo e esforço despendidos, algumas das ideias aqui apresentadas venham ajudar a mim mesmo identificar maneiras adicionais de enriquecer as vidas daqueles que me cercam.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE NUMÉRICA DE UMA ESTRUTURA DE CAIS POR DOIS MODELOS
DE REPRESENTAÇÃO DO SOLO

Henrique Apolinário Rody

Outubro/2010

Orientador: Francisco de Rezende Lopes

Programa: Engenharia Civil / Geotecnia

O comportamento de uma estrutura de contenção dimensionada assumindo propriedades determinísticas pode, dada a usualmente limitada campanha de investigação geotécnica, apresentar baixa representatividade frente à elevada variabilidade dos parâmetros dos solos.

Com isso serão estudados os dimensionamentos de estruturas de contenção a partir de métodos tradicionais de projeto estrutura de contenção (Free Earth Support e Fixed Earth Support), do Método de Elementos Finitos e de molas para a representação do solo e diagramas de tensões obtidos com a utilização de redes neurais.

Este trabalho tem como objeto central a investigação de diferentes ferramentas para o dimensionamento de cortinas de contenção para obras portuárias. Visa também indicar uma sistemática simples e eficiente para este tipo de dimensionamento e que possa considerar o perfil geotécnico com suas propriedades e variabilidades.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

NUMERICAL ANALYSIS OF A OWAY WALL BY TWO SOIL MODELS

Henrique Apolinário Rody

October/2010

Advisors: Francisco de Rezende Lopes

Department: Civil Engineering

The behavior of a containment structure scaled assuming deterministic properties can, given the usually limited campaign geotechnical investigation, present low representation compared to high variability of soil parameters.

Thus studying the dimensioning of containment structures from traditional methods of containment structure design (Free Earth Support and Fixed Earth Support), the Finite Element Method and springs to represent soil and diagrams of stresses obtained with the using neural networks.

This work has as central object of different research tools for the design of curtains contention for port works. Visa also indicate a simple systematic and efficient for this type of design and can consider the profile with their geotechnical properties and variability.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DO SOLO.....	3
2.1.1 Finalidade da Investigação	3
2.1.2 Parâmetros Geotécnicos	5
2.1.3 Coeficiente de Reação (Winkler)	14
2.1.4 Estatística em Levantamentos Geotécnicos.....	17
2.2 REDES NEURAIS.....	23
2.2.1 Histórico	23
2.2.2 Topologia das Redes Neurais	24
2.2.3 Pré-Processamento.....	25
2.2.4 Treinamento, Validação e Teste	27
2.2.5 Críticas durante treinamento e pós-treinamento.....	29
2.3 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO.....	31

2.3.1	Histórico	31
2.3.2	Métodos Tradicionais	32
2.3.3	Análise Numérica (Método dos Elementos Finitos).....	47
2.3.4	Discussão sobre os Métodos de Dimensionamento.....	52
3	MODELAGENS DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM MEF E COEFICIENTE DE REAÇÃO.....	55
3.1	DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE REAÇÃO VIA REDES NEURAIS.....	55
3.1.1	Obtenção dos Dados de Entrada.....	56
3.1.2	Topologia da Rede.....	65
3.1.3	Resultados do Treinamento	68
3.2	VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL - ESTUDO DE CASO: METRÔ RIO, LOTE 9.....	73
3.2.1	Análise do Metrô Via MEF	73
3.2.2	Análise do Metrô-Rio via Coeficiente de Reação (Redes Neurais)	85
4	ESTUDO DE CASO	89
4.1.1	Geometria do Porto.....	89
4.1.2	Propriedades dos Materiais Estruturais	90
4.1.3	Carregamentos Aplicados.....	93
4.1.4	Investigações Geotécnicas.....	93
4.1.5	Dimensionamentos	98
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

ANEXOS	112
Resultados dos Estudos de Sensibilidade dos Coeficientes de Reação em Relação aos Parâmetros da Seção da Cortina	113
Resultados dos das Análises pelo MEF para a Obtenção dos Coeficientes de Reação utilizados no Banco de Dados	123
Banco de dados utilizado na modelagem da Rede Neural.....	131
Código Fonte da Rede Neural	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Relação Movimentação da Parede vs Coeficiente de Empuxo (Brinch Hansen, 1953).....	2
Figura 2-2. Concentração de probabilidade de função para duas variáveis (Rosenblueth, 1975).....	21
Figura 2-3. Concentração de probabilidade de função para três variáveis (Rosenblueth, 1975).....	22
Figura 2-4 Neurônio observado em microscópio (Caloba, 2009)	24
Figura 2-5. Esquema geral de um neurônio.....	24
Figura 2-6 Rede Neural Artificial de Múltiplas Camadas (Caloba, 2009).....	27
Figura 2-7 Diversas superfícies de erro sendo a primeira (esquerda para direita) superfície linear, a segunda com erro sigmóide e a terceira com erro sigmóide e duas camadas.	30
Figura 2-8 Problema de overtraining (Caloba, 2009).....	30
Figura 2-9 Esquema geral de cálculo de cortinas em balanço (Bowles, 1977).....	33
Figura 2-10 Empuxo de água resultante devido lençol freático e fluxos de água (Velloso & Lopes, 1976)	34
Figura 2-11 Esquema geral do método do apoio fixo (Velloso & Lopes, 1976)	36
Figura 2-12 Esquema geral do método do apoio livre (Velloso & Lopes, 1976).....	37
Figura 2-13 Modelo de Brinch Hansen (Velloso & Lopes, 1976)	38
Figura 2-14 Análise de estabilidade do “maciço de ancoragem” (Kranz, 1953).	39
Figura 2-15 Método de Kranz generalizado (Ranke & Ostermayer, 1968).	40

Figura 2-16 Análise de estabilidade pelo método de Costa Nunes e Velloso (GeoRio, 2000).....	41
Figura 2-17 Análise de estabilidade considerando o equilíbrio do solo e da cortina (Broms, 1968).....	43
Figura 2-18 Curvas de nível de esforço cortante com $K_0 = 1$ e $K_0 = 2$ para taludes de 30 pés (Lo & Lee, 1973).....	52
Figura 3-1 Seção tipo utilizada no estudo de sensibilidade das propriedades da cortina	57
Figura 3-2 Resultados do estudo de sensibilidade dos coeficientes de reação pela variação da espessura da cortina.....	58
Figura 3-3 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia fofa	60
Figura 3-4 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia medianamente compacta.....	60
Figura 3-5 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia compacta	61
Figura 3-6 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila muito mole (carregamento não-drenado).....	61
Figura 3-7 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila mole (carregamento não-drenado).....	62
Figura 3-8 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila média (carregamento não-drenado).....	62
Figura 3-9 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila rija (carregamento não-drenado).....	63
Figura 3-10 Acompanhamento do erro durante as iterações da Rede Neural Sequencial	66
Figura 3-11 Acompanhamento do erro da Rede Neural que apresentou overtraining ...	66
Figura 3-12 Acompanhamento do erro da Rede Neural para solos arenosos (final).....	67

Figura 3-13 Acompanhamento do erro da Rede Neural para solos argilosos (final)	68
Figura 3-14 Resultados do teste da Rede Neural de solos arenosos e argilosos	69
Figura 3-15 Resultados do teste da Rede Neural de solos arenosos.....	69
Figura 3-16 Resultados do teste da Rede Neural de solos argilosos	70
Figura 3-17. Locação dos Poços para Inclinômetro (Soares, 1981).....	74
Figura 3-18. Locação dos piezômetros e medidores de deslocamentos verticais	75
Figura 3-19 Estroncas instrumentadas (Soares, 1981)	76
Figura 3-20 Perfil Geotécnico (Soares, 1981).....	77
Figura 3-21 Seção instrumentada antes do início da escavação – dia 8/12/78 (Soares, 1981).....	79
Figura 3-22 Seção instrumentada antes da colocação das estroncas (Soares, 1981).....	80
Figura 3-23 Seção instrumentada com um nível de escoramento (Soares, 1981).....	81
Figura 3-24 Seção instrumentada final, com dois níveis de escoramento (Soares, 1981)	82
Figura 3-25 Disposição dos elementos Isoparamétricos no Plaxis 8.2.....	83
Figura 3-26 Perfil Geotécnico modificado para o atendimento das condições da instrumentação.....	84
Figura 3-27 Deformações horizontais obtidas no Plaxis	84
Figura 3-28 Deslocamentos horizontais obtidas por análise não-drenada com o programa Plaxis (esquerdo) e medidos na obra do Metrô-Rio (direito).....	84
Figura 3-29 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 1	86
Figura 3-30 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 2	86

Figura 3-31 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 3	87
Figura 3-32 Deslocamentos horizontais obtidas das três etapas construtivas do Metrô-Rio.	88
Figura 3-28 Deslocamentos horizontais obtidas por análise não-drenada com o programa Plaxis (esquerdo) e medidos na obra do Metrô-Rio (direito).....	88
Figura 4-1. Planta de Locação do Porto Estinave.....	89
Figura 4-2 Geometria do porto de Itajaí (Estinave).....	90
Figura 4-3 Esquema de cargas do Método do Apoio Livre (Bowles, 1977).....	98
Figura 4-4 Diversos perfis de tensões horizontais obtidas no Plaxis durante o estudo do Método de Rosenblueth.....	102
Figura 4-5 Estrutura modelada no SAP2000.....	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Requisitos básicos para a utilização de diversos métodos de análise (Potts & Zdravkovic, 1999)	4
Tabela 2-2 Requisitos de projeto para diversos tipos de análise (Potts & Zdravkovic, 1999).....	5
Tabela 2-3 Aplicabilidade e uso de ensaios in situ (Lunne et al., 1997).....	6
Tabela 2-4 Módulos de Elasticidade (em MPa)	7
Tabela 2-5 Valores aproximados da relação E_u/S_u para carregamentos estáticos não-drenados em argilas normalmente adensadas ou levemente pré-adensadas (Soares, 1981).....	8
Tabela 2-6 Valores típicos de coeficiente de Poisson (Teixeira et al., 1998).....	9
Tabela 2-7 Relação entre ângulo de atrito e N_{SPT}	10
Tabela 2-8 Valores empíricos da Resistência Não-Drenada em kPa, obtidos a partir do N_{SPT} para solos argilosos	11
Tabela 2-9 Características do subsolo, (empírico)	12
Tabela 2-10 Valores de ks_1 para placas quadradas de 1 ft ² e para faixas de 1 ft em argilas pré-adensadas (Terzaghi, 1955)	14
Tabela 2-11 Coeficientes de variação para diversos parâmetros geotécnicos.....	17
Tabela 2-12 Condições de equilíbrio satisfeitas pelos diversos Métodos de Equilíbrio Limite (MEL)	45
Tabela 2-13 Equações e incógnitas envolvidas nas condições de equilíbrio para diversos processos de análise pelo MEL.	46

Tabela 2-14 Aumento percentual devido a escavação na maior tensão cisalhante como proporção da tensão vertical (Duncan & Dunlop, 1970).....	50
Tabela 2-15 Comparação da resistência ao cisalhamento requerida para a prevenção de ruptura (Duncan & Dunlop, 1970)	50
Tabela 3-1 Parâmetros das modelagens de areias para montagem do Banco de Dados.	59
Tabela 3-2 Parâmetros das modelagens de argilas para montagem do Banco de Dados	59
Tabela 3-3 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis	64
Tabela 3-4 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis para solos arenosos	64
Tabela 3-5 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis para solos argilosos	65
Tabela 3-6 Média e Desvio Padrão dos parâmetros geotécnicos no banco de dados empregado no desenvolvimento da Rede Neural de solos arenosos.	70
Tabela 3-7 Média e Desvio Padrão dos parâmetros geotécnicos no banco de dados empregado no desenvolvimento da Rede Neural de solos argilosos.....	70
Tabela 3-8 Propriedades de área do diafragma	77
Tabela 3-9 Propriedades das estroscas.....	77
Tabela 3-10 Eventos a serem empregados na modelagem em MEF.....	82
Tabela 4-1 Propriedades de área das estacas	91
Tabela 4-2 Propriedades de área da cortina de contenção.....	92
Tabela 4-3 Propriedades de área da viga-tirante (compressão).....	92
Tabela 4-4 Propriedades de área da viga-tirante (tração).....	92
Tabela 4-5 Propriedades de área do diafragma	93
Tabela 4-6 Levantamento geo-estatístico do cais do porto de Itajaí	94
Tabela 4-7 Materiais das Camadas.....	95

Tabela 4-8 Dados das Camadas.....	96
Tabela 4-9 Propriedade médias das camadas de solo empregadas nas análises numéricas	97
Tabela 4-10 Propriedades das camadas.....	99
Tabela 4-11 Propriedade das camadas de solo para análises estatísticas	100
Tabela 4-12 Tensões efetivas horizontais máximas das análises do Plaxis	101
Tabela 4-13 Coeficientes de mola empregados na análise numérica	104

1 INTRODUÇÃO

Os projetos de Obras Portuárias, via de regra, apresentam questões de Mecânica dos Solos que assumem importância capital em detrimento ao panorama global deste tipo obra. Com isso, o estudo destas estruturas não só visando o aspecto econômico, mas também questões técnicas, apresenta grande vulto entre os engenheiros que trabalham com este tipo de obra. Dentro deste universo, uma recorrente estrutura nessas obras é a cortina de contenção, objeto do presente estudo.

O comportamento de uma estrutura de contenção dimensionada assumindo propriedades determinísticas pode, dada a usualmente limitada campanha de investigação geotécnica, apresentar baixa representatividade frente a elevada variabilidade dos parâmetros dos solos.

Com isso serão estudados os dimensionamentos de estruturas de contenção a partir de (i) métodos tradicionais de projeto estrutura de contenção (*Free Earth Support* e *Fixed Earth Support*), (ii) do Método de Elementos Finitos e, (iii) de um modelo de molas para a representação do solo (modelo de Winkler) e diagramas de tensões combinados com a utilização de redes neurais.

Este trabalho tem como objeto central a investigação de diferentes ferramentas para o dimensionamento de cortinas de contenção para obras portuárias. Visa também indicar uma sistemática simples e eficiente para este tipo de dimensionamento e que possa considerar o perfil geotécnico com suas propriedades e variabilidades.

O presente trabalho encontra-se organizado em 5 capítulos. O primeiro capítulo consiste na introdução ao tema, o segundo capítulo apresenta a Revisão Bibliográfica acerca dos assuntos: investigação geotécnica, modelos de representação do Solo, aplicação de parâmetros estatísticos em mecânica dos solos, redes neurais, e métodos de análise de estruturas de contenção. No capítulo 3 é desenvolvida a metodologia para determinação de coeficientes de reação via redes neurais, sendo no capítulo 4 aplicados os resultados deste capítulo em um estudo de caso. O capítulo 5 apresenta as conclusões e as sugestões para novos estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo das estruturas de contenção, em particular das cortinas de contenção em obras portuárias, apresenta a dificuldade de determinação dos esforços atuantes para o dimensionamento estrutural destas estruturas uma vez as tensões que o solo produz na estrutura não são de fácil obtenção. Estão presentes fatores de variabilidade de resistência e deformabilidade do solo, além da falta de uniformidade nas teorias para a determinação desses esforços.

Além destas dificuldades, o modo de movimentação da estrutura interfere diretamente no coeficiente de empuxo do solo, e conseqüentemente no valor da tensão atuante na cortina. A figura 2-1 ilustra este fato.

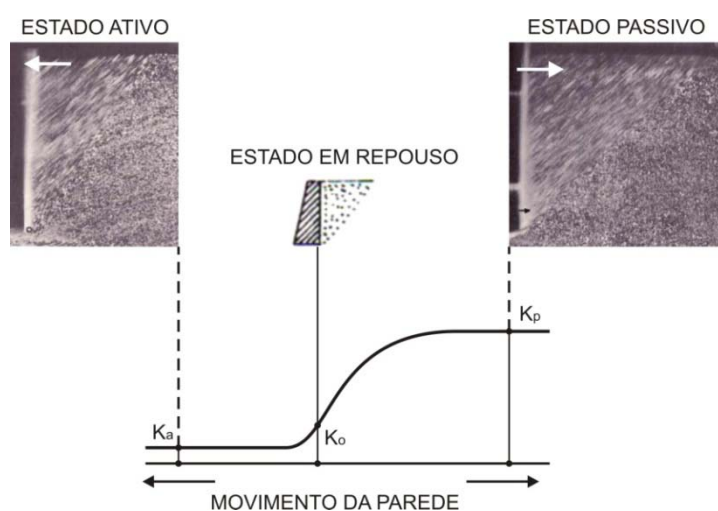


Figura 2-1 Relação Movimentação da Parede vs Coeficiente de Empuxo (Brinch Hansen, 1953)

Para o dimensionamento de estruturas de contenção, portanto, é necessário o entendimento do comportamento deste empuxo de terra e da movimentação da cortina.

Dado isto, tendo em vista que a dissertação irá abordar também a metodologia para dimensionamento de cortinas que utiliza coeficientes de reação, propõe-se uma metodologia para obtenção desses coeficientes de reação por redes neurais. A revisão bibliográfica, portanto, irá abordar tópicos de investigação geotécnica, redes neurais e estruturas de contenção para nivelar os avanços nessas áreas com o tema pesquisado.

2.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DO SOLO

Em problemas de análise geotécnica, a determinação dos parâmetros de entrada do modelo de análise a ser desenvolvido deve ser cuidadosa e criteriosa porque, por mais sofisticados que sejam os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros necessários, eles não possuem a capacidade de prever o comportamento real do solo devido a variabilidade inerente deste material.

Os parâmetros de resistência são, na maioria dos casos, os principais condicionantes nos estudos de estruturas de contenção, envolvendo além do conhecimento da coesão e do ângulo de atrito interno, a curva tensão-deformação para todos os materiais que contribuem no comportamento da estrutura. Segundo alguns autores (Hsu, 1974) e (Sarma, 1973) os parâmetros de resistência afetam mais o coeficiente de segurança "final" do que o refinamento do método de cálculo.

2.1.1 Finalidade da Investigação

A investigação geotécnica é feita para a obtenção dos parâmetros de resistência, permeabilidade e de deformação, porém não são todos os parâmetros geotécnicos empregados na análise de estruturas de contenção. Em verdade, os parâmetros a serem investigados variam de acordo com o tipo de análise que está sendo realizado e com o tipo de representação de solo utilizado nesta análise.

Os programas de elementos finitos aplicados a estruturas de contenção visam a determinação do comportamento dessas estruturas, e para isto lançam mão de aspectos construtivos (sequência executiva, etc.), dos parâmetros dos materiais (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, resistência, peso específico). Já em uma análise de equilíbrio limite os parâmetros necessários para a determinação dos coeficientes de segurança são basicamente de resistência (coesão, ângulo de atrito) e peso específico.

Além disto, a distribuição da água subterrânea, através dos aquíferos, apresenta grande importância para os estudos de estabilidade de taludes e de estruturas de contenção, porém nem sempre é corretamente investigada.

Esta dificuldade de escolha dos parâmetros a serem empregados nas diferentes análises que envolvem o projeto de uma estrutura de contenção indicam a importância

complexidade dos problemas de mecânica dos solos: a definição do comportamento real do solo face às condições externas.

O solo é um meio particulado heterogêneo, anisotrópico, não-linear e viscoso. Uma análise com um material deste tipo é extremamente difícil, e por isto são necessárias simplificações.

As simplificações consistem em assumir que um ou mais destes aspectos não precisam se considerados; em um caso extremo o solo é considerado um meio Constante Homogêneo, Isotrópico, Linear e Elástico (“CHILE”). Estas considerações permitiriam apenas trabalhar com modelos do tipo Linear Elástico, porém para uma boa representação do solo são necessários outros modelos de representação do solo, considerando eventualmente Heterogeneidade, Anisotropia, Não-Linearidade e Plasticidade. Potts & Zdravkovic (1999) identificaram estas dificuldades e compararam os métodos de análise empregado e os tipos constitutivos de solo na tabela 2-1.

Tabela 2-1 Requisitos básicos para a utilização de diversos métodos de análise (Potts & Zdravkovic, 1999)

MÉTODO DE ANÁLISE		REQUISITOS DA SOLUÇÃO				
		Equilíbrio	Compatibilidade	Modelo Constitutivos	Condições de contorno	
					Força	Desloc.
Solução teórica		S	S	Linear elástico	S	S
Equilíbrio limite		S	NS	Rígido com critério de ruptura	S	NS
Análise de tensões		S	NS	Rígido com critério de ruptura	S	NS
Análise Limite	Envoltória Inf.	S	NS	Plástico superfície de escoamento	S	NS
	Envoltória Sup.	NS	S		NS	S
Aproximação por coef. reação		S	S	Solo representado por molas ou fatores elásticos	S	S
Análise numérica completa		S	S	Todos	S	S

S – satisfaz / NS – não satisfaz

Estes modelos constitutivos do solo apresentam algumas limitações em se tratando de algumas análises específicas. Abaixo estão ilustrados os requisitos específicos para as

análises que envolvem o estudo de uma estrutura de contenção e se o método de análise satisfaz às condições mínimas do projeto.

Tabela 2-2 Requisitos de projeto para diversos tipos de análise (Potts & Zdravkovic, 1999)

MÉTODO DE ANÁLISE		REQUISITOS DO PROJETO						
		Estabilidade			Contenções e Apoios		Estruturas Adjacentes	
		Contenções e Apoios	Ruptura de Base	Global	Forças estruturais	Deslocamentos	Forças estruturais	Deslocamentos
Solução teórica		N	N	N	S	S	S	S
Equilíbrio limite		S	Cálculo Separado	Cálculo Separado	S	N	N	N
Análise de tensões		S			S	N	N	N
Análise Limite	Envoltória Inf.	S			Estimativa Grosseira	N	N	N
	Envoltória Sup.	S	E. G.	N	N			
Aproximação por coef. reação		S	N	N	S	S	N	N
Análise numérica completa		S	S	S	S	S	S	S

S – Sim / N - Não

Diante do exposto, uma investigação geotécnica adequada deve reconhecer o tipo de avaliação que será feita do problema, para que sejam determinados os parâmetros necessários.

2.1.2 Parâmetros Geotécnicos

São diversos os parâmetros utilizados para representar o solo, porém em uma modelagem usual pelo MEF os parâmetros empregados limitam-se a:

- Módulo de Elasticidade,
- Coeficiente de Poisson, e
- peso específico do solo,

- ângulo de atrito e
- coesão.

A obtenção desses dados pode ser obtida por duas formas: via ensaios laboratoriais, via ensaios de campo. A grande preocupação, porém, é a qualidade do resultado, pois alguns ensaios não medem diretamente o parâmetro estudado, e, por isto, apresenta resultados pouco confiáveis (ver Tabela 2-3).

Tabela 2-3 Aplicabilidade e uso de ensaios in situ (Lunne et al., 1997)

Grupo	Equipamento	Identificação				Parâmetros										
		Tipo Solo	Perfil	u	ϕ'	S_u	D_r	m_v	c_v	k	G_0	σ_h	OCR	σ - ϵ		
Penetrômetro	Dinâmico	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-		
	Mecânico	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-		
	Elétrico (CPT)	B	A	-	C	C	B	C	-	-	B	B/C	C	-		
	Piezocone (CPTu)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C		
	Sísmico	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B		
	Dilatômetro (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C		
	SPT	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-		
	Resistividade	B	A	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-		
Pressiômetro	Pré-furo (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C		
	Auto-Perf. (SBP)	B	B	A	B	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B		
	Cone-Press.(FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A	C	C	C		
Outros	Palheta	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B		
	Ensaio de placa	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B		
	Placa helicoidal	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-		
	Permeabilidade	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-		
	Ruptura Hidráulica	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-		
	Sísmico	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-		

Aplicabilidade **A** = alta; **B** = moderada; **C** = baixa; - = inexistente.

2.1.2.1 Módulo de Young (Módulo de Elasticidade)

O Módulo de Young (ou Módulo de Elasticidade, E) recebeu este nome devido o cientista do século XIX Thomas Young. No entanto, o conceito foi desenvolvido em 1727 por Leonhard Euler, e os primeiros experimentos que utilizaram o conceito de módulo de Young, em sua forma atual, foram realizadas pelo cientista italiano Giordano Riccati em 1782 - anterior à obra de Young por 25 anos.

A obtenção do Módulo de Elasticidade pode ser feita em laboratório pelo ensaio triaxial, porém há basicamente três tipos de ensaios triaxiais: Adensado Drenado (consolidated drained – CD), Adensado Não Drenado (consolidated undrained – CU) e Não Adensado Não Drenado (unconsolidated undrained – UU).

A prática em obras de contenção, todavia, faz pouco uso da determinação do Módulo de Elasticidade por ensaios laboratoriais pois geralmente estas determinações além de serem de difícil execução (demandando grande tempo e amostras especiais), representam para cada ensaio apenas um ponto do perfil estratigráfico, sendo necessário para a caracterização de um perfil geotécnico com muitos materiais, muitas amostras e ensaios.

A solução para as dificuldades acima apresentada é o uso dos ensaios de campo e das correlações desses ensaios com o módulo de elasticidade. Alguns autores em trabalhos diversos identificaram valores típicos para o Módulo de Elasticidade. A tabela 2-4 apresenta uma síntese dos resultados obtidos por estes diversos autores na obtenção do Módulo de Elasticidade.

Tabela 2-4 Módulos de Elasticidade (em MPa)

Solo	Consistência ou Compacidade	(Bowles, 1977)	(Sherif et al., 1975)	(Kédzi, 1975)	Teixeira et al., 1998)
Argila	Muito mole	0,3 a 3	-	0,35 a 3,5	1
	Mole	2 a 4	1 a 2,5	2 a 5	2
	Média	4,5 a 9	-	4 a 8	5
	Rija	-	2,5 a 5	-	7
	Muito rija	-	5 a 10	-	8
	Dura	7,0 a 20,0	-	-	7 a 18

Solo	Consistência ou Compacidade	(Bowles, 1977)	(Sherif et al., 1975)	(Kédzi, 1975)	Teixeira et al., 1998)
Areia	Fofa	-	-	-	5
	Pouco compacta	10 a 25	20 a 50	10 a 25	20
	Media. Compacta	-	50 a 100	-	50
	Compacta	50 a 100	-	50 a 80	70
	Muito compacta	-	-	-	90
Areia com Pedregulhos	Pouco compacta	50 a 140	-	-	50
	Compacta	80 a 200	-	100 a 200	120
Argila arenosa	-	30 a 42,5	-	30 a 40	-
Silte	-	2 a 20	3 a 10	-	-
Areia Siltosa	-	-	-	7 a 20	-

O módulo de elasticidade em areias é usualmente utilizado para a determinação dos recalques (uma vez que areias tipicamente não sofrem adensamento).

Diversos autores realizaram estudos da correlação do módulo de Elasticidade com a Resistência Não-Drenada em solos argilosos. Os resultados de ensaios de diversos autores estão reunidos na Tabela 2-5.

Tabela 2-5 Valores aproximados da relação E_u/S_u para carregamentos estáticos não-drenados em argilas normalmente adensadas ou levemente pré-adensadas (Soares, 1981).

Referência	Tipo de Solo	$\frac{E_u}{S_u}$
Terzaghi (1955)	Argilas	67
Gill (1968)	Argila de S. Francisco (IP-30%)	120
Gill e Denars (1970)	Argila Siltosa El Centro (IP = 17%)	200 – 400
Matlock (1970)	Argilas Moles	360 – 720
Jamiolkowski e Marchetti (1970)	Argila Siltosa Manfredonia (IP = 55%)	450 – 560
Singh et al (1971)	Argilas Moles	350 – 450
Baguelin e Jezequel (1972)	Argilas Siltosas Moles	400 – 600
De Beer (1976)	Argilas	120 – 180

Referência	Tipo de Solo	$\frac{E_u}{S_u}$
Jamiolkowski e Lancelotta (1977)	Argila Siltosa Posto Tolle (IP = 30%)	500 – 720
Ramalho Ortigão (1980)	Argila Cinza Rio de Janeiro	200 – 400
Amaro Lins (1980)	Metrô Lote 9 (compressão) Metrô Lote 9 (Extensão)	800 – 1100 300 – 400
Chirapuntu e Duncan (1975)	IP < 30	600 – 200
	30 < IP < 50	300 – 1000
	IP > 50	150 – 500

Em Solos Residuais de Gnaisse, Sandroni (1991) realizou uma série de ensaios para a obtenção de uma correlação entre o módulo de Elasticidade e o N_{SPT} . Os resultados obtidos foram:

$$E = 2,5 \cdot N_{SPT} \quad (2-1)$$

Outra forma de se obter o Módulo de Young é por ensaios *in-situ* (ver Tabela 2-3)

2.1.2.2 Coeficiente de Poisson

O coeficiente de Poisson (ν) é a razão entre a deformação específica lateral e longitudinal. Em solos ele apresenta os valores típicos expressos na Tabela 2-5, a seguir.

Tabela 2-6 Valores típicos de coeficiente de Poisson (Teixeira et al., 1998)

SOLO	ν
Areia pouco compacta	0,2
Areia compacta	0,4
Silte	0,3 a 0,5
Argila saturada	0,4 a 0,5
Argila não saturada	0,1 a 0,3

O coeficiente de Poisson usualmente não impõe grandes alterações nos resultados de análises em MEF na maioria dos problemas, tendo, todavia, um efeito importante em obras de contenção.

2.1.2.3 Ângulo de Atrito (ϕ)

O coeficiente de atrito do solo é o fator de estabilidade em obras de terra. Todos os solos possuem ângulo de atrito, porém as argilas apresentam ângulos de atrito inferiores aos das areias.

O ângulo de atrito interno, ϕ , pode ser determinado em laboratório pelo ensaio de cisalhamento direto ou Triaxial. Alguns autores apresentam correlações do ângulo de atrito em areias com o N_{SPT} , na tabela 2-7 estão listadas algumas destas relações.

Tabela 2-7 Relação entre ângulo de atrito e N_{SPT}

N_{SPT} ¹	Densidade da areia	(Peck et al., 1953)	(Meyerhof, 1956)	(Bowles, 1977)
< 4	Muito fofa	< 29°	< 30°	25° – 30°
4 - 10	Fofa	29° – 30°	30° – 35°	27° – 32°
10 - 30	Media	30° – 36°	35° – 40°	30° – 35°
30 - 50	Densa	36° - 41°	40° – 45°	35° – 40°
> 50	Muito densa	> 41°	> 45°	38° – 43°

Ao utilizar estas correlações deve-se tomar cuidado pois o valor do N_{SPT} não está ajustado para os padrões brasileiros e em virtude do efeito da energia de cravação, amplamente discutido por Belicantra & Cintra (1998), podem ocorrer grande variação nos resultados.

Observa-se que em obras de estabilidade de taludes o ângulo de atrito apresenta grande representatividade, pois ele dita a resistência ao cisalhamento do solo.

2.1.2.4 Coesão (c) e Resistência Não-Drenada (S_u)

A coesão é o nome dado a uma série de fenômenos que envolvem a resistência ao cisalhamento do solo. Para cada um destes fenômenos a coesão apresenta características peculiares.

O primeiro fenômeno a ser descrito é a Coesão Verdadeira, que consiste na cimentação entre as partículas. É o caso dos solos cimentados e das argilas sobre-adensadas.

¹ Valores em desacordo com a NBR 6484 - Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos e NBR 7250 - Identificação e Classificação de Amostras Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos

Outro fenômeno é o Intercepto de Coesão, que consiste na coesão utilizada para representar a envoltória de Mohr como uma reta, ou seja, é um parâmetro geométrico que indica a ordenada da envoltória de Mohr para $\sigma = 0$.

O terceiro fenômeno a ser descrito aqui é a coesão aparente. Este fenômeno nada mais é do que a resistência provocada entre as partículas devido à sucção da água presente no solo acima do lençol freático. Observe que esta última coesão desaparece quando o solo é submerso.

Tabela 2-8 Valores empíricos da Resistência Não-Drenada em kPa, obtidos a partir do N_{SPT} para solos argilosos

N_{SPT}	Consistência	(NAVFAC 7.02)	(Bowles, 1977)
0 – 2	Muito mole	< 13	< 12
2 - 4	Mole	13 – 26	12 – 24
4 - 8	Media	26 – 50	24 – 48
8 – 15	Rija	50 – 100	48 – 96
15 – 30	Muito rija	100 – 200	96 – 192
> 32	Dura	> 200	> 192

Estas correlações são muito questionáveis, e muitos pesquisadores sugerem desconsiderá-las.

2.1.2.5 Parâmetros Empíricos

As normas alemãs apresentam uma coletânea de parâmetros empíricos de solos, cuja aplicabilidade é válida para estudos preliminares e para conhecimento de ordem de grandeza de parâmetros (Tabela 2-9), porém estes valores não dispensam a necessidade de uma investigação geotécnica para a obtenção dos parâmetros a serem empregados nas análises.

Tabela 2-9 Características do subsolo, (empírico)

Tipo de Solo	Classificação DIM 18 196	Resistência Penetração q_c MN/m ²	Consistência	Peso específico		Módulo de Elasticidade $E_s = v_e \cdot \sigma_{atm} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_{atm}}\right)^{w_e}$		Parâmetros de resistência drenada		Resistência não- drenada S_u kN/m ²	Perm. k_k m/s
				γ_k kN/m ³	γ'_k kN/m ³	v_e	w_e	φ'_k Graus	c'_k kN/m ²		
Cascalho uniforme	GE U < 6	<7,5	Baixa	16,0	8,5	400	0,6	30,0-32,5			2E-1
		7,5-15	Média	17,0	9,5	900	0,4	32,5-37,5			a
		>15	Alta	18,0	10,5			35,0-40,0			1E-2
Cascalho mal- graduado	GW, GI 6 ≤ U ≤ 15	<7,5	Baixa	16,5	9,0	400	0,7	30,0-32,5			1E-2
		7,5-15	Média	18,0	10,5	1100	0,5	32,5-37,5			a
		>15	Alta	19,5	12,0			35,0-40,0			1E-6
Cascalho mal- graduado	GW, GI U > 15	<7,5	Baixa	17,0	9,5	400	0,7	30,0-32,5			1E-2
		7,5-15	Média	19,0	11,5	1200	0,5	32,5-37,5			a
		>15	Alta	21,0	13,5			35,0-40,0			1E-6
Pedregulho arenoso d < 0,006 mm < 15%	GU, GT	<7,5	Baixa	17,0	9,5	400	0,7	30,0-32,5			1E-5
		7,5-15	Média	19,0	11,5	800	0,6	32,5-37,5			a
		>15	Alta	21,0	13,5	1200	0,5	35,0-40,0			1E-6
Pedregulho arenoso d < 0,006 mm > 15%	GU, GT	<7,5	Baixa	16,5	9,0	150	0,9	30,0-32,5			1E-7
		7,5-15	Média	18,0	10,5	125	0,8	32,5-37,5			a
		>15	Alta	19,5	12,0	400	0,7	35,0-40,0			1E-11
Areia grossa, uniforme	SE U < 6	<7,5	Baixa	16,0	8,5	250	0,75	30,0-32,5			5E-1
		7,5-15	Média	17,0	9,5	475	0,60	32,5-37,5			a
		>15	Alta	18,0	10,5	700	0,55	35,0-40,0			1E-2
Areia fina, uniforme	SE U < 6	<7,5	Baixa	16,0	8,5	150	0,75	30,0-32,5			1E-3
		7,5-15	Média	17,0	9,5	225	0,65	32,5-37,5			a
		>15	Alta	18,0	10,5	300	0,60	35,0-40,0			2E-4
Areia mal-graduada	SW, SI 6 ≤ U ≤ 15	<7,5	Baixa	16,5	9,0	200	0,70	30,0-32,5			5E-4
		7,5-15	Média	18,0	10,5	400	0,60	32,5-37,5			a
		>15	Alta	19,5	12,0	600	0,55	35,0-40,0			2E-5
Areia mal-graduada	SW, SI U > 15	<7,5	Baixa	17,0	9,5	200	0,70	30,0-32,5			1E-4
		7,5-15	Média	19,0	11,5	400	0,60	32,5-37,5			a
		>15	Alta	21,0	13,5	600	0,55	35,0-40,0			1E-5
Areia d < 0,006 mm < 15%	SU, ST	<7,5	Baixa	16,0	8,5	150	0,80	30,0-32,5			2E-5
		7,5-15	Média	17,0	9,5	350	0,70	32,5-37,5			a
		>15	Alta	18,0	10,5	500	0,65	35,0-40,0			5E-7

Tipo de Solo	Classificação DIM 18 196	Resistência Penetração q_c MN/m ²	Consistência	Peso específico		Módulo de Elasticidade $E_s = v_e \cdot \sigma_{atm} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_{atm}}\right)^{w_e}$		Parâmetros de resistência drenada		Resistência não- drenada S_u kN/m ²	Perm. k_k m/s
				γ_k kN/m ³	γ'_k kN/m ³	v_e	w_e	ϕ'_k Graus	c'_k kN/m ²		
Areia d < 0,006 mm > 15%	SU, ST	<7,5 7,5-15 >15	Baixa Média Alta	16,5 18,0 19,5	9,0 10,5 12,0	50 250	0,90 0,75	30,0-32,5 32,5-37,5 35,0-40,0			2E-6 a 1E-9
Silte inorg. coesivo c/ baixa plasticidade (w _l < 35%)	UL		Rija Muito rija Dura	17,5 18,5 19,5	9,0 10,0 11,0	40 110	0,80 0,60	27,5-32,5	0 2-5 5-10	5-60 20-150 20-300	1E-5 a 1E-7
Silte inorg. coesivo c/ média plasticidade (50% > w _l > 35%)	UM		Rija Muito rija Dura	16,5 18,0 19,5	8,5 9,5 10,5	30 70	0,90 0,70	35,0-30,0	0 2-5 5-10	5-60 20-150 20-300	2E-6 a 1E-9
Argila inorg. coesivo c/ baixa plasticidade (w _l < 35%)	TL		Rija Muito rija Dura	19,0 20,0 21,0	9,0 10,0 11,0	20 50	1,00 0,90	35,0-30,0	0 2-5 5-10	5-60 20-150 20-300	1E-7 a 2E-9
Argila inorg. coesivo c/ média plasticidade (50% > w _l > 35%)	TM		Rija Muito rija Dura	18,5 19,5 20,5	8,5 9,5 10,5	10 30	1,00 0,95	22,5-27,5	0 2-5 5-10	5-60 20-150 20-300	5E-8 a 1E-10
Argila inorg. coesivo c/ alta plasticidade (w _l > 50%)	TA		Rija Muito rija Dura	17,5 18,5 19,5	7,5 8,5 9,5	6 20	1,00 1,00	20,0-25,0	0 2-5 5-10	5-60 20-150 20-300	1E-9 a 1E-11
Silte ou argila orgânica	OU e OT		Muito mole Mole Média	14,0 15,5 17,0	4,0 5,5 7,0	5 20	1,00 0,85	17,5-22,5	0 2-5 5-10	2-<15 5-60 20-150	1E-9 a 1E-11
Turfa	HN, HZ		Muito mole Mole Média Rija	10,5 11,0 12,0 13,0	0,5 1,0 2,0 3,0						1E-5 a 1E-8
Lama	F		Muito mole mole	12,5 16,0	2,5 6,0	4 15	1,0 0,9		0	<6 6-60	1E-7 1E-9

2.1.3 Coeficiente de Reação (Winkler)

O módulo de reação horizontal como parâmetro para projetos de estruturas de contenção, é amplamente empregado nos casos de interação solo-estrutura. Este modelo, proposto por Winkler em 1867, vem sendo utilizado exaustivamente na análise estrutural pela facilidade de cálculo que proporciona a engenheiros estruturais.

A formulação original de Winkler fazia uso da representação de sólidos como molas para obter as deformações deste sólido mediante carregamentos.

Posteriormente Zimmermann utilizou a teoria de Winkler para representação da via permanente ferroviária pressupondo o trilho assentado sobre uma viga continuamente apoiada sobre molas.

Contudo o primeiro autor a explorar o coeficiente de reação em obras fundações e contenção foi Terzaghi (1955). Neste artigo, para a aplicação da teoria já consolidada na área de fundações por trabalhos clássicos como o de Hetenyi e o de Zimmermann a obras de contenção foram empregadas algumas hipóteses simplificadoras. São elas:

1. O coeficiente k entre a tensão de contato p e o deslocamento correspondente y é independente da tensão p (ou seja, k tem valor único)
2. O coeficiente k_h para argilas rijas é uniforme ao longo da profundidade, e para solos arenosos este coeficiente varia linearmente com a profundidade.

Tabela 2-10 Valores de ks_1 para placas quadradas de 1 ft² e para faixas de 1 ft em argilas pré-adensadas (Terzaghi, 1955)

Consistência da Argila		Rija	Muito Rija	Dura
Valores de q_u	MN/m ²	1 a 2	2 a 4	>4
Intervalos para ks_1	MN/m ³	17 a 35	35 a 70	>70
Valores propostos para ks_1	MN/m ³	26	52	100

Há uma diferença grande entre o comportamento tensão de contato / deslocamento de uma placa e de uma cortina.

Soares (1981) fez um apanhado das teorias que envolvem o dimensionamento de estruturas de contenção via módulo de reação horizontal e comparou com os resultados da escavação no Metrô do Rio.

Os resultados desta pesquisa realizada foi aqui subdivida em duas partes, uma primeira abordando os Módulos de Reação Horizontal em Argilas Normalmente Adensadas e uma segunda abordando os Módulos de Reação Horizontal em Areias. Tal separação se dá pelas pesquisas apontadas por Terzaghi indicarem coeficientes de reação uniformes em solos argilosos, e crescentes com a profundidade em solos arenosos.

Para argilas Normalmente Adensadas a relação E_{s_i}/S_u é tida como constante, e estão expressas na Tabela 2-5. A partir destas constantes pode-se utilizar a equação 2-1 para obter o módulo de reação horizontal:

$$E_s = \frac{P}{y} = K_h \cdot d \quad (2-2)$$

onde:

P é a reação do solo por unidade de comprimento de estaca;

K_h é o coeficiente de reação horizontal do solo segundo (Terzaghi, 1955);

y é o deslocamento horizontal e

d é o diâmetro da estaca.

Ainda no estudo de Soares, ele observa que a sugestão de Terzaghi (1955) leva a valores menores que $0,30 \text{ MN/m}^3$ para o módulo, sem, porém, considerar as diferenças nas camadas, não sendo aconselhada para fichas longas.

Simulando o solo abaixo do nível da escavação como molas e espaçamento e , o valor do coeficiente de reação K que se deve adotar em função da resistência não-drenada é dado por:

$$K = E \cdot e \quad (2-3)$$

onde E é o módulo de elasticidade do solo.

Tacitano (2006) apresentou em sua tese de doutoramento a modelagem de estruturas de contenção de valas utilizando o modelo de Winkler através do Método Analítico Unidimensional, utilizando o programa CEDEVE (Cálculo Evolutivo de Deslocamentos e Esforços em Valas Escoradas). O método desenvolvido na tese possui as seguintes características:

- Parede como uma viga de largura unitária;

- Solo modelado como molas de comportamento elasto-plástico perfeito incluindo histerese;
- Estroncas e tirantes, de comportamento elástico, com ou sem esforços iniciais;
- Ações sobre a estrutura advindas dos empuxos de solo, de água e eventuais sobrecargas presentes na superfície;
- Possibilidade da inclusão dos efeitos de temperatura nos cálculos dos deslocamentos e esforços nas estroncas.

Os principais pontos observado por (Tacitano, 2006) quanto a utilização de coeficiente de reação para dimensionamento de estruturas de contenção são:

- A rigidez relativa do escoramento e da parede é levada em conta automaticamente, sem preocupação em distinguir parede flexível e parede rígida, o que é necessário em alguns métodos de cálculo.
- A consideração das molas desacopladas entre si (diferente do que ocorre na realidade) é uma simplificação crítica neste tipo de modelagem.
- Os resultados do trabalho indicaram resultados menos conservadores em relação aos demais métodos.

2.1.3.1 Limitação das pesquisas realizadas

A primeira hipótese simplificadora proposta por Terzaghi (O coeficiente de empuxo k entre a tensão de contato P e o deslocamento correspondente y é independente da tensão P) também é uma constante nas metodologias apresentadas, sendo questionável a validade.

A simulação em MEF, apesar das limitações das investigações geotécnicas, é a forma mais abrangente para a obtenção dos esforços e deformações atuantes na estrutura, tendo em vista que este método consegue simular os diversos tipos de solos e inclusive comportamento não-linear.

2.1.4 Estatística em Levantamentos Geotécnicos

O tratamento estatístico dos parâmetros geotécnicos se justifica frente a grande variabilidade dos materiais que constituem o solo, e do elevado coeficiente de variação dos resultados de ensaios laboratoriais e de campo.

A tabela 2-11 elucida o Coeficiente Variação de alguns parâmetros típicos de uma obra de terra, que variam devido a forma de amostragem (no nosso caso, ensaio).

Tabela 2-11 Coeficientes de variação para diversos parâmetros geotécnicos

Propriedade ou resultado do ensaio	Coef. de Variação V (%)	Referência Bibliográfica
Peso específico (γ)	3 a 7	Harr (1984), Kulhawy (1992)
Peso específico Buoyant (γ_b)	0 a 10	Lacasse & Nadim (1997), Duncan (2000)
Ângulo de Atrito Efetivo (ϕ')	2 a 13	Harr (1984), Kulhawy (1992)
Resistência Não-drenada (S_u)	13 a 40	Harr (1984), Kulhawy (1992), Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Undrained strength ratio	5 a 15	Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Compression index	10 a 37	Harr (1984), Kulhawy (1992), Duncan (2000)
Tensão de pré-adensamento (σ'_{cm})	10 a 35	Harr (1984), Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Coeficiente de Permeabilidade de argila saturada (k)	68 a 90	Harr (1984), Duncan (2000)
Coeficiente de Permeabilidade de argila parcialmente saturada (k)	130 a 240	Harr (1984), Benson et al. (1999)
Coeficiente de adensamento (c_v)	33 a 68	Duncan (2000)
Standard Penetration Nest (N_{spt})	15 a 45	Harr (1984), Kulhawy (1992)
CPT (q_c)	5 a 15	Kulhawy (1992)
CPT mecânico (q_c)	15 a 37	Harr (1984), Kulhawy (1992)
Ensaio Dilatôométrico (q_{DMT})	5 a 15	Kulhawy (1992)
Vane Test (S_v)	10 a 20	Kulhawy (1992)

O tratamento destes dados por meios determinísticos, portanto, agride a característica mais marcante do solo: elevado grau de variabilidade, justificando o emprego de variáveis estatísticas nos métodos de dimensionamento de estruturas.

2.1.4.1 Variáveis Estatísticas

Os momentos podem ser caracterizados como quantidades numéricas, calculadas a partir de uma distribuição de frequências (ou de probabilidades), e que são utilizadas para fornecer descrições resumidas da distribuição estudada. Dentro da ampla classe dos momentos estão incluídas três importantes medidas: a média, a variância (que é desvio padrão ao quadrado) e, por consequência, o próprio desvio padrão.

Média: A medida de tendência central mais comumente usada para descrever resumidamente uma distribuição de frequências é a média, ou mais propriamente, a média aritmética. A média nada mais é do que o valor único que representa todos os demais valores de uma série. Assim, sendo um conjunto $X = x_1, x_2, \dots, x_n$, temos:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2-4)$$

Variância: A variância de uma variável aleatória é a medida de sua dispersão estatística, indicando quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado. A variância de uma variável aleatória real é o seu segundo momento central e também o seu segundo cumulante (os cumulantes só diferem dos momentos centrais a partir do 4º grau, inclusive). A unidade de variância é o quadrado da unidade de observação.

Se $\mu = E(X)$ é o valor esperado (média) da variável aleatória X , então a variância é:

$$var(X) = E[(X - \mu)^2] \quad (2-5)$$

Desvio Padrão: O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística, e define-se como a raiz quadrada da variância e desta forma, de maneira a dar-nos uma medida da dispersão que seja: um número não negativo; use as mesmas unidades de medida que os nossos dados. Assim, faz-se uma distinção entre o desvio padrão (sigma) do total de uma população ou de uma variável aleatória, e o desvio padrão s de um sub-conjunto em amostra.

O desvio padrão de uma variável aleatória X é definido como:

$$\sigma = \sqrt{E\{[X - E(X)]^2\}} = \sqrt{E(X^2) - [E(X)]^2} \quad (2-6)$$

onde $E(X)$ é o valor esperado de X .

Distribuições Probabilísticas: Em teoria probabilidade e estatística, uma probabilidade de distribuição identifica tanto a probabilidade de cada valor de uma variável aleatória não identificada (quando a variável é discreta), ou a probabilidade de o valor cair dentro de um determinado intervalo (quando a variável é contínua). A distribuição de probabilidade descreve a gama de possíveis de valores que uma variável aleatória pode atingir e a probabilidade de que o valor da variável aleatória está dentro de qualquer (mensuráveis) subconjunto desse intervalo.

Quando a variável aleatória assume valores no conjunto de números reais, a probabilidade de distribuição é completamente descrito pela função de distribuição cumulativa, cujo valor a cada real x é a probabilidade de que a variável aleatória é menor ou igual a x .

O conceito de probabilidade de distribuição e as variáveis aleatórias que descrevem a matemática subjacente a disciplina teoria da probabilidade, e da ciência da estatística. Existe disseminação ou variabilidade, em quase todos os valores que podem ser medidos em uma população (por exemplo, altura das pessoas, a durabilidade de um metal, etc.), quase todas as medições são feitas com algum erro intrínseco; em Física muitos processos são descritos probabilisticamente, a partir das propriedades cinética dos gases para a mecânica quântica descrição de partículas fundamentais. Por estas e muitas outras razões, simples números são muitas vezes insuficientes para descrever uma quantidade, enquanto a probabilidade distribuições é frequentemente mais adequada.

2.1.4.2 Propagação das variáveis estatística

A propagação das variáveis estatísticas visando o conhecimento da média e do desvio padrão dos resultados finais são calculadas via de regra pelo método de Expansão em Série de Taylor. Este método embora de complexa aplicação (pois utiliza o cálculo da derivada da função analisada) é aplicável a uma grande gama de problemas geotécnicos.

A principal dificuldade, porém, na utilização das variáveis estatística em problemas geotécnicos é a constante ocorrência de modelagens que utilizam métodos empíricos em suas análises. Para estes métodos pode-se contar com o método de Rosenblueth.

Método de Expansão em Série de Taylor: A série de Taylor expande a função em torno de sua média e utiliza os coeficientes de simetria β_1 e intensidade de pico (β_2) para os cálculos da variância da função.

Abaixo segue a formulação básica empregada neste método (Lima Alves & Santa Maria, 2001).

$$E[f(x, y, z)] = \left[f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} V[x] + \frac{\delta^2 f}{\delta y^2} V[y] + \frac{\delta^2 f}{\delta z^2} V[z] \right) \right]_{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}} \quad (2-7)$$

$$V[f(x, y, z)] = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\delta f}{\delta x} \right)^2 V[x] + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} \right)^2 V^2[x] \cdot (\beta_2(x) - 1) + \beta_1(x) \cdot \sigma^3[x] \cdot \left[\frac{\delta f}{\delta x} \cdot \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} \right] \\ + \\ \left(\frac{\delta f}{\delta y} \right)^2 V[y] + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\delta^2 f}{\delta y^2} \right)^2 V^2[y] \cdot (\beta_2(y) - 1) + \beta_1(y) \cdot \sigma^3[y] \cdot \left[\frac{\delta f}{\delta y} \cdot \frac{\delta^2 f}{\delta y^2} \right] \\ + \\ \left(\frac{\delta f}{\delta z} \right)^2 V[z] + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\delta^2 f}{\delta z^2} \right)^2 V^2[z] \cdot (\beta_2(z) - 1) + \beta_1(z) \cdot \sigma^3[z] \cdot \left[\frac{\delta f}{\delta z} \cdot \frac{\delta^2 f}{\delta z^2} \right] \end{array} \right\} \quad (2-8)$$

Observa-se que embora este método necessite do conhecimento da derivada da função na qual reside o problema, o conhecimento desta função não é necessário, pois pode-se partir para a solução de discretização. Tal metodologia permite a utilização do Método de Taylor em pacotes de softwares fechados, tais como o SAP e o Plaxis.

Método de Rosenblueth: O método de Rosenblueth ou método das Estimativas Pontuais, proposto em 1975 e estendido em 1981, permite que, conhecendo-se a variabilidade de diversas variáveis aleatórias independentes, estime-se a variabilidade de uma variável aleatória dependente daquelas (Lima Alves et al., 2001). Este é um método de grande aplicabilidade em estudos por programas tipo “Caixa Preta”, pois ele não necessita que se trabalhe diretamente com os parâmetros estatísticos, ele necessita apenas que seja realizada a análise com os dados de entrada combinados entre si.

Consideremos, por exemplo, duas variáveis X e Y , reais, e $Y = Y(X)$ seja uma função conhecida. Tendo a média \bar{X} , o desvio padrão σ_x e o coeficiente de kurtosidade ν_x , procura-se soluções aproximadas para os momentos da distribuição de Y . As expressões são válidas para todas as distribuições de X , dado que os três primeiros probabilísticos de Y quando $Y = X$.

Para P_{\pm} e x_{\pm} devem ser simultaneamente satisfeitas as seguintes condições:

$$P_+ + P_- = 1 \quad (2-9)$$

$$P_+x_+ + P_-x_- = \bar{X} \quad (2-10)$$

$$P_+(x_+ - \bar{X})^2 + P_-(x_- - \bar{X})^2 = \sigma_x^2 \quad (2-11)$$

$$P_+(x_+ - \bar{X})^3 + P_-(x_- - \bar{X})^3 = v_x^3 \cdot \sigma_x^2 \quad (2-12)$$

cuja solução é:

$$P_+ = \frac{1}{2} \left[1 \mp \sqrt{1 - \frac{1}{1 - (\frac{v_x}{2})^2}} \right] \quad (2-13)$$

$$P_- = 1 - P_+ \quad (2-14)$$

$$x = \bar{X} \mp \sigma_x \sqrt{\frac{P_{\mp}}{P_{\pm}}} \quad (2-15)$$

Quando v_x é desconhecido, pode-se assumir que a kurtosidade é nula. Então, $P_{\pm} = \frac{1}{2}$ e $x_{\pm} = \bar{X} \pm \sigma_x$. E portanto,

$$\bar{Y} = \frac{y_+ + y_-}{2} \quad (2-16)$$

$$\sigma_y = \left| \frac{y_+ - y_-}{2} \right| \quad (2-17)$$

$$V_y = \left| \frac{y_+ - y_-}{y_+ + y_-} \right| \quad (2-18)$$

Apresentando graficamente estes dados teremos:

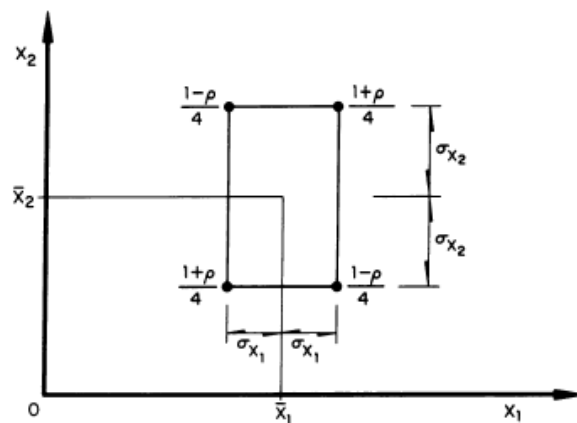


Figura 2-2. Concentração de probabilidade de função para duas variáveis (Rosenblueth, 1975)

No caso de mais de uma variável estatística, apenas é aumentado o número de incógnitas, sendo, porém, observado que o aumento de variáveis cresce de forma

geométrica, o que torna a formulação complexa em se tratando de um sistema com muitas variáveis.

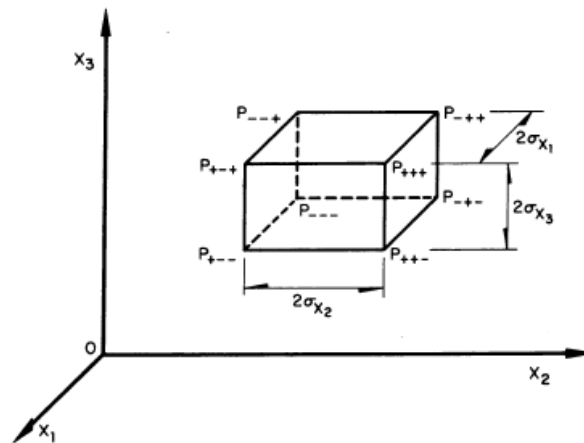


Figura 2-3. Concentração de probabilidade de função para três variáveis (Rosenblueth, 1975)

2.2 REDES NEURAIS

Uma rede neural pode ser interpretada na prática como um aproximador universal, porém capaz de apresentar aproximações de múltiplas saídas. Neste fato reside o sucesso das redes neurais, pois ela apresenta uma grande aplicabilidade em problemas diversos, podendo ser utilizada para tarefas que vão desde o desenvolvimento de sistemas especialistas, passando por aplicações nas neurociências e podendo servir até mesmo para problemas complexos de análise estatística.

Devido a estes fatos que as redes neurais artificiais vêm ganhando cada vez mais adeptos, de modo que as pesquisas nesta área estão evoluindo geometricamente, tornando esta tecnologia bastante promissora para o desenvolvimento de aplicações utilizando inteligência artificial.

2.2.1 Histórico

A origem das redes neurais está associada a necessidade de se criar um modelo computacional que fosse capaz de simular o comportamento do cérebro. Este mecanismo foi inicialmente idealizado por McCulloch e Pitts em 1943 pelo modelo matemático do neurônio artificial. O surgimento do neurônio de McCulloch e Pitts foi considerado como marco final da chamada época antiga das Redes Neurais, época esta caracterizada pelas conquistas da psicologia e neurofisiologia, apesar de terem sido feitas maiores conquistas na área da psicologia do que na neurofisiologia.

Em 1949 teve início com o trabalho de Donald O. Hebb, cujo principal foco era a explicação dos processos mentais superiores como o pensamento e a percepção. Ele sugeriu que a transmissão dos impulsos nervosos nos neurônios era repetitiva, apresentando loops. Este processo foi um grande facilitador da aprendizagem.

Possui grande importância na história das Redes Neurais o encontro do Dartmouth College onde segundo Barreto (1997) foi o primeiro encontro conjunto para estudar a Inteligência Artificial (IA). Nos anos que se seguiram ao encontro em Dartmouth foram de muito otimismo para os pesquisadores de IA e estes pensavam que brevemente qualquer problema poderia ser resolvido com inteligência artificial, esta idéia ganhou ainda mais força com o Perceptron de Frank Rosenblatt. O Perceptron era uma rede neural de duas camadas de neurônios capaz de aprender de acordo com a lei de Hebb.

Em 1969, Minsky & Papert em seu livro *Perceptrons* (Minsky & Papert, 1969) provaram que a rede proposta anteriormente por Rosenblatt não era capaz de distinguir padrões linearmente separáveis como o problema do OU-Exclusivo. Esta publicação culminou no esquecimento das redes neurais até o início da década de 80, quando ocorreram algumas inovações no algoritmo de treinamento “Backpropagation” por Paul Werbos e iniciou-se a utilização de várias camadas de neurônios, pelos estudos de John Hopfield (Rosenberg, 1998).

Apesar de tudo, as redes neurais ainda possuem algumas limitações que são campo aberto para pesquisas como a falta de uma análise matemática profunda e estudos sobre computabilidade e complexidade computacional.

2.2.2 Topologia das Redes Neurais

Diferente dos sistemas especialistas (Inteligência Artificial), que são constituídos por uma série de regras que analisam informações sobre uma classe específica de problema, os sistemas conexionistas (Redes Neurais) não se baseiam em regras pré-definidas, mas em treinamentos de reconhecimento e aproximação.



Figura 2-4 Neurônio observado em microscópio (Caloba, 2009)

Na figura 2-5 é apresentado um esquema geral do funcionamento de um neurônio em uma rede neural.

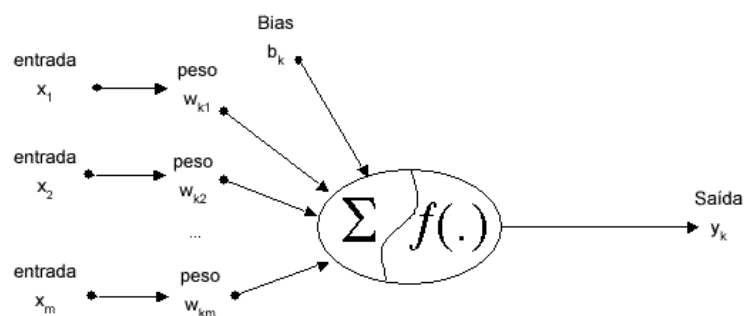


Figura 2-5. Esquema geral de um neurônio

De forma geral, nos neurônios artificiais os seguintes elementos estão envolvidos:

Conjunto de sinapses (W): Ligações entre neurônios. Cada ligação possui um valor (peso), que representa a sua força: os estímulos de entrada são multiplicados pelos respectivos pesos de cada ligação, podendo gerar um sinal tanto positivo (excitatório) quanto negativo (inibitório).

Combinador Linear (Σ): Executa o somatório dos sinais produzidos pelo produto entre os pesos sinápticos e as entradas fornecidas ao neurônio. Em outras palavras, é o integrador dos sinais que chegam ao neurônio.

A saída do neurônio é definida pelo seu valor de ativação calculado da seguinte forma:

$$y_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j + b_k \quad (2-19)$$

onde:

u é o valor de ativação do neurônio k ;

w são os pesos das conexões do neurônio k ;

x é o valor de cada um dos m estímulos que chegam ao neurônio k ;

b_k é o valor do bias que será somado ao valor do combinador linear para compor o valor de ativação.

O papel da função de ativação é definir o valor da saída y_k em função das entradas x_k . Portanto, neste contexto, vemos que para a obtenção de um conjunto de resultados aproximados dos resultados desejados, a diferença na rede neural pelas duas funções de ativação se dá basicamente na forma da variação dos pesos e da bias (fatores em vermelho na fórmula x) que produz um efeito de soma de constante e variação de escala.

2.2.3 Pré-Processamento

O pré-processamento é a etapa onde são preparados os dados de entrada e saída da RN. Nesta etapa são escolhidas as variáveis de entrada e saída, são definidas as formas de compactação, parametrização e escalamento dessas variáveis.

Para a entrada da RN devem ser escolhidas as **variáveis relevantes**, **TODAS** as variáveis relevantes e **SOMENTE** as variáveis relevantes (Caloba, 2009).

A determinação das entradas relevantes parte da fenomenologia, ou seja, no caso de uma modelagem geotécnica são entradas relevantes os parâmetros do solo empregados nessa modelagem.

Porém eventualmente alguns parâmetros podem apresentar uma grande redundância que eventualmente culmina em uma “desorientação” na rede neural, para evitar este problema devem ser estudadas as correlações das variáveis de entrada e de saída.

Denomina-se, então, como etapa de pré-processamento a escolha das variáveis irão participar da rede neural, seja ela por meio da fenomenologia do projeto, seja por estudo de correlação.

O estudo de correlação de variáveis consiste na verificação da existência de algum tipo de correlação entre estas variáveis para definir a importância desta variável para a Rede Neural.

Existem diversos métodos para cálculo de correlação entre variáveis, porém o mais empregado em Redes Neurais é o Coeficiente de Correlação de Pearson devido os resultados apresentarem-se já normalizados.

O coeficiente de correlação de Pearson calcula-se segundo a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X) \cdot var(Y)}} \quad (2-20)$$

onde \bar{x} é a média da variável X e \bar{y} é a média da variável Y .

A análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação. Quando são empregadas mais de uma variáveis, o valor de ρ é cabível de interpretação, podendo devido o resultado ser ou não empregada na modelagem em Rede Neural. São típicas as seguintes interpretações do resultado da Correlação de Pearson:

- $\rho = 0,70$ (em módulo) indica uma forte correlação..
- $0,30 < \rho < 0,70$ (em módulo) indica correlação moderada, podendo ou não ser empregada na Rede Neural, a depender da fenomenologia do problema.

- $\rho < 0,30$ (em módulo) indica fraca correlação de variáveis, sendo raramente empregada variáveis com este nível de correlação em redes neurais.

2.2.4 Treinamento, Validação e Teste

O algoritmo de treinamento mais utilizado no perceptron de múltiplas camadas (MLP), é o de retro propagação de erro (BP), baseado no método do gradiente descendente, que computa as derivadas parciais de uma função de erro, com relação ao vetor peso W de certo vetor de entrada (Dayhoff, 1990) e (Haykin, 1994).

A regra de Widrow-Hoff é a base fundamental para os diversos métodos de treinamento das de Redes Neurais, inclusive de Múltiplas Camadas (MLP) (Zurada, 1992). Esta regra avalia o erro (e) a cada iteração através da derivada parcial desse erro em relação ao peso W e ao limiar (b), mostrados, de forma simples no perceptron da Figura 2-6.

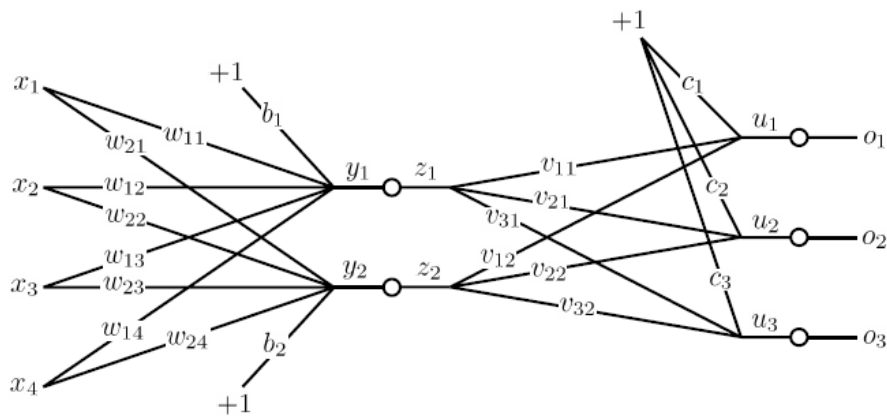


Figura 2-6 Rede Neural Artificial de Múltiplas Camadas (Caloba, 2009)

Sabendo-se que (T) representa o vetor alvo a ser atingido no treinamento, (S) o número de elementos do vetor de saída $(A=[a_1 a_2 \dots a_S]t)$, R o número de elementos do vetor $(P=[p_1 p_2 \dots p_R]t)$, apresentado à entrada da rede e (F) a função de ativação e, finalmente, analisando-se um neurônio genérico, para n -ésima iteração, $(j = 1, \dots, R)$, tem-se (2-20):

$$\frac{\partial e^{(n)}}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial [T^{(n)} - A^{(n)}]}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \left[T^{(n)} - \sum_{j=1}^R W_{ij} \cdot P_j^{(n)} \right] = -P_j^{(n)} \quad (2-21)$$

Na expressão (2-21) é mostrada a variação ΔW do peso e o processo adaptativo de atualização do parâmetro interno, peso da rede (Zurada, 1992).

Análise semelhante poderia ser feita em relação ao limiar (b), outro parâmetro interno da Rede Neural.

$$\Delta W_{ij}^{(n)} = -\eta \frac{\partial e^{(n)}}{\partial W_{ij}} \therefore W_{ij}^{(n+1)} = W_{ij}^{(n)} + \Delta W_{ij}^{(n)} = W_{ij}^{(n)} + \eta P_f^{(n)} \quad (2-22)$$

A técnica de retro propagação de erro, baseada no método do gradiente decrescente, tratado em sua essência nas equações (2-20) e (2-21) é normalmente usada no treinamento de redes de múltiplas camadas (Haykin, 1994).

Dependendo do mapeamento desejado, o método do gradiente decrescente, que depende da magnitude do gradiente, isto é da magnitude das derivadas parciais do erro (e) sobre o peso pode se tornar lento, especialmente no final do treinamento, inviabilizando aplicações que exigem soluções rápidas (Dayhoff, 1990) e (Haykin, 1994).

Por outro lado, o método Resiliente de retro propagação de erro, usado nessa investigação, faz parte de uma classe de estratégias rápidas de adaptação local para treinamento de RNAs e seu algoritmo foi desenvolvido por Riedmiller e Braun, (Riedmiller, 1993).

É um método independente da magnitude do gradiente do erro sobre o peso, no qual a atualização dos pesos depende, simplesmente, do sinal dos termos do gradiente e o aprendizado é feito por épocas. O ajuste dos pesos é realizado depois da apresentação completa de todo o padrão de treinamento à RNA.

No método Resiliente, a variação dos pesos é feita de forma separada. Assim, os pesos W_{ij} possuem uma taxa de variação própria Δ_{ij} , com o tempo, obedecendo a seguinte regra, como mostrado em (2-23):

$$\Delta_{ij}^{(t)} = \begin{pmatrix} \eta^+ \Delta_{ij}^{(t-1)} & \text{se } \frac{\partial e^{(t)}}{\partial W_{ij}} \frac{\partial e^{(t-1n)}}{\partial W_{ij}} > 0 \\ \eta^- \Delta_{ij}^{(t-1)} & \text{se } \frac{\partial e^{(t)}}{\partial W_{ij}} \frac{\partial e^{(t-1n)}}{\partial W_{ij}} < 0 \\ \Delta_{ij}^{(t-1)} & \text{caso contrário} \end{pmatrix} \quad (2-23)$$

onde $0 < \eta^- < 1 < \eta^+$

Os valores típicos para η e Δ_{ij} são: $\eta^+ = 1.2$, $\eta^- = 0.5$ e $10^{-6} < \Delta_{ij} < 50$.

O fato do gradiente do erro sobre o peso não mudar de sinal em duas iterações sucessivas indica que o sistema está se movendo na mesma direção, sugerindo um aumento de Δ_{ij} proporcional a η^+ , visando acelerar a convergência.

A mudança do sinal do gradiente em duas iterações sucessivas indica que a última atualização do peso foi excessiva, levando o sistema a saltar sobre um mínimo e sugerindo uma diminuição de Δ_{ij} proporcional a η^- .

Se o gradiente $\partial e^{(n)}/\partial W_{ij}$ for positivo, o erro cresce e a variação do peso deve ser decrementada na atualização $\Delta W_{ij}^{(t)} = -\Delta_{ij}^{(t)}$ com conseqüente diminuição do peso.

Se o gradiente $\partial e^{(n)}/\partial W_{ij}$ é negativo, o erro decresce e a variação do peso deve ser incrementada na atualização $\Delta W_{ij}^{(t)} = \Delta_{ij}^{(t)}$ e conseqüentemente aumentando o peso.

Se o gradiente $\partial e^{(n)}/\partial W_{ij}=0$ não ocorre variação na atualização do peso, isto é, $\Delta W_{ij}^{(t)} = 0$.

Finalmente, os pesos são atualizados através de (2-24):

$$W_{ij}^{(t+1)} = W_{ij}^{(t)} + \Delta W_{ij}^{(t)} \quad (2-24)$$

2.2.5 Críticas durante treinamento e pós-treinamento

As críticas durante treinamento e pós-treinamento apresenta uma grande importância para a obtenção de resultados aceitáveis para a rede neural, pois este estudo verifica a convergência do erro durante o treinamento, se durante a execução da RN o erro obtido é fruto de um mínimo global ou se realmente é fruto do treinamento da rede.

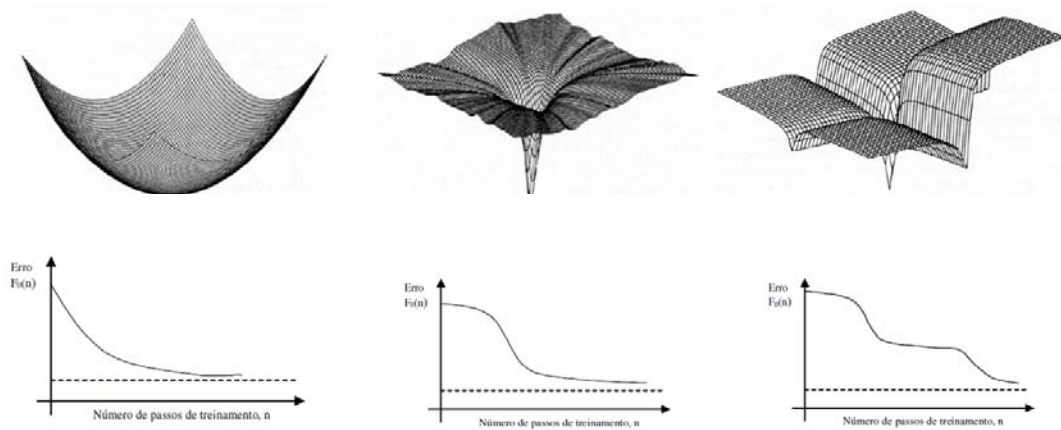


Figura 2-7 Diversas superfícies de erro sendo a primeira (esquerda para direita) superfície linear, a segunda com erro sigmóide e a terceira com erro sigmóide e duas camadas.

Se no treinamento de uma saída lógica y_i os valores esperados (-1, 1) coincidem com os valores de saturação do neurônio (tgh) então O minimante do erro médio quadrático também é minimante do erro médio de classificação.

Conclusão: o backpropagation minimiza o erro de classificação

Observação: a recíproca não é verdadeira, um minimante do erro de classificação não é obrigatoriamente minimante do Erro Médio Quadrático

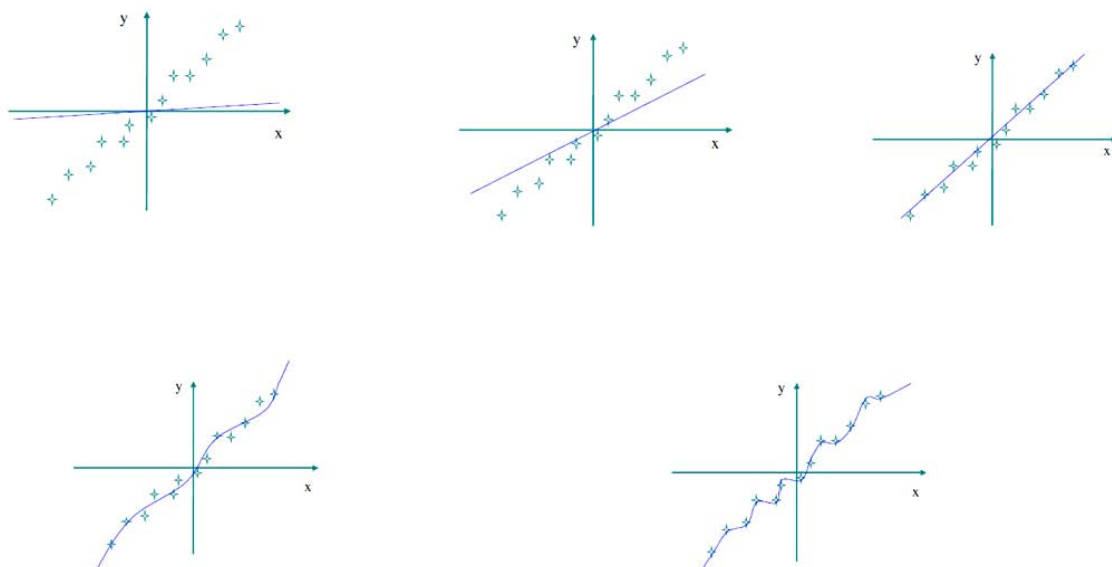


Figura 2-8 Problema de overtraining (Caloba, 2009)

Em suma, o treinamento em excesso torna a Rede Neural pouco abrangente, dificultando o reconhecimento dos padrões e a obtenção de resultados satisfatórios.

2.3 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

O dimensionamento de estruturas de contenção engloba diversos tipos de análises, estando entre essas as análises estruturais, utilizadas para verificar a resistência e a deformabilidade de uma estrutura de concreto perante as tensões de um maciço de solo, porém para a determinação desses carregamentos atuantes nessa estrutura de concreto tem-se inicialmente que conhecer o comportamento do solo ao sofrer as alterações que serão impostas pela obra. Para o conhecimento deste comportamento serão introduzidas neste capítulo as teorias que abrangem o comportamento do solo mediante escavações e obras de terra.

Dentre os métodos para o seu dimensionamento é possível enquadrá-los em três grandes grupos. Os Métodos Empíricos que se baseiam em resultados de medidas experimentais, os Métodos Semi-Empíricos que admitem como carregamento um diagrama de pressões para ambos os lados da parede, em cada fase de escavação, pressupondo o tipo de grandeza dos deslocamentos e considerando as estroncas e tirantes como apoios fixos e, finalmente, os Métodos Analíticos, que levam em conta as características de resistência e rigidez da estrutura e do maciço e possibilitam o cálculo evolutivo em que os esforços e deslocamentos das fases anteriores são efetivamente levados em conta nos cálculos das fases seguintes (Tacitano, 2006).

2.3.1 Histórico

O dimensionamento de estruturas de contenção está intimamente ligado com a definição das tensões que atuam no maciço de terra e da forma como elas se comportam diante da movimentação das estruturas de suporte. Diante disto, face ao fato dessas estruturas usualmente serem verticais ou muito íngremes, é importante o estudo do comportamento do solo nestas condições, e, portanto, de suma importância o conhecimento da forma como atuam os esforços horizontais no solo.

O cálculo dos esforços horizontais em solo teve início com as teorias de Coulomb em 1776, com a introdução dos conceitos básicos e definições que vigoram até a atualidade. Assim, com o surgimento da lei de Coulomb (equação 2-24) tornou-se possível a determinação dos esforços atuantes em uma estrutura de contenção.

$$\tau = c + \mu \cdot \sigma \quad (2-25)$$

Com uma abordagem completamente diferente, Rankine em 1857 investigou as condições de equilíbrio e ruptura para um elemento infinitesimal em uma massa semi-infinita de solo. Assumindo linhas de ruptura retas e condições de contorno na superfície do solo, desenvolveu as fórmulas do estado ativo e passivo do solo.

Em 1903 Kötter ampliou as possibilidades de análise de superfícies de ruptura inserindo a possibilidade de utilização de superfícies curvas por meio da derivação da equação diferencial que rege as tensões na superfície. Na época da publicação deste estudo, muito pouco foi o uso devido a grande dificuldade de aplicação, porém devido as facilidades computacionais atualmente é extenso o uso dessa teoria.

Os estudos sobre a Teoria da Plasticidade foram desenvolvida por diversos autores, destacando-se entre eles Saint Venant (1971), von Mises (1913), Prandtl (1920 e 1927), Hencky (1928), Nadai (1928), Jürgenson (1934) e Odqvist (1934), sendo inicialmente aplicada a metais, e posteriormente ao solo (Brinch Hansen, 1953).

Fellenius desenvolveu em 1927 uma metodologia de análise para superfícies de ruptura circular e solos sem atrito. Esta metodologia ficou conhecida como Método $\varphi = 0$. Em investigações posteriores Skempton (1948) constatou que este método apresenta resultados confiáveis quanto utilizados em análise de estabilidade.

2.3.2 Métodos Tradicionais

Não existe um método "exato" para a análise/concepção de cortinas de contenção. Em ambos os casos, observações de campo e de modelos de laboratório, nota-se a existência de uma complexa interação com o método construtivo (instalação e reaterro, escavação do lado livre), profundidade da escavação, a rigidez do tipo de parede, material e estado do solo retidos, e resistência à tensão passiva (Bowles, 1977). A dificuldade, porém reside na adoção de metodologias de dimensionamento que considerem estes efeitos.

Os métodos de análise de cortinas em balanço e de cortinas de cais com uma linha de apoios ("anchored bulkheads"), cujo desenvolvimento, no início do século, está ligado aos nomes de Krey e Blum (usualmente designados como Métodos Tradicionais) são conhecidos como **Método de Apoio Fixo** ("fixed earth support") e **Método de Apoio Livre** ("free earth support"), podem ser estendidos a cortinas com vários níveis de apoios. Neste caso, o primeiro seria normalmente aplicado aos primeiros estágios de

escavação (a ficha é longa) e o segundo aos últimos (a ficha é curta). O cálculo da cortina em balanço é feita para cortinas que não receberão apoio por tirantes, estroncas ou pela estrutura (Velloso & Lopes, Paredes Moldadas no Solo, 1976).

2.3.2.1 Cortinas em balanço

No cálculo de uma cortina em balanço admite-se que ela sofra uma rotação sob efeito do empuxo (ativo) que atua no seu trecho livre (fig. 2-8). Esta rotação desperta o empuxo passivo na frente do trecho enterrado e ativo atrás, até o ponto de rotação O. Neste ponto, o solo atrás da parede passa do estado ativo para o passivo enquanto na frente desenvolve-se estado ativo.

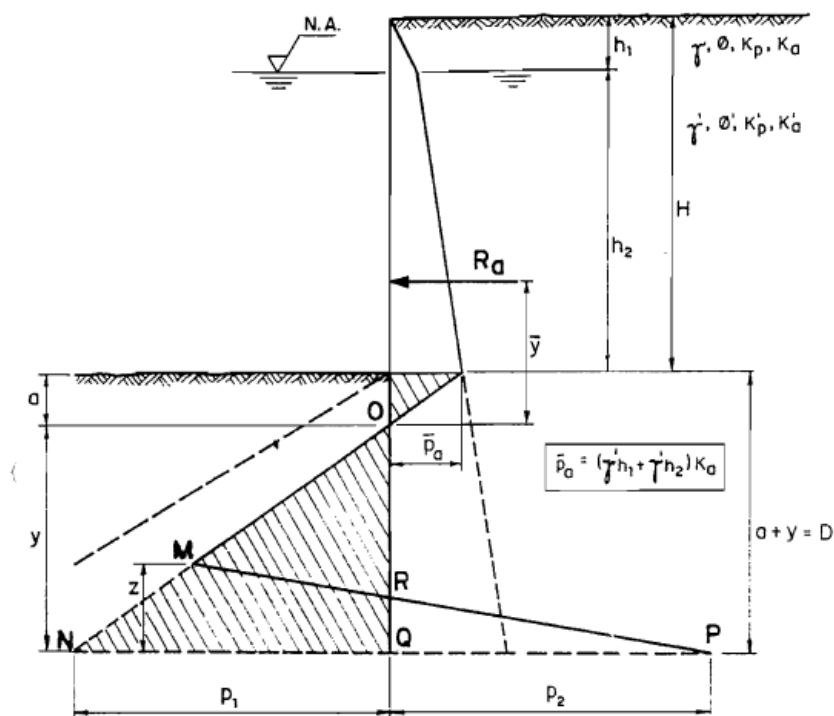


Figura 2-9 Esquema geral de cálculo de cortinas em balanço (Bowles, 1977)

A determinação da profundidade necessária á estabilidade da cortina compreende:

1. traçado dos diagramas de empuxo ativo e passivo dos lados arrimado e escavado, obtendo-se os diagramas de pressões "resultantes" (ativo-passivo).
2. No cálculo dos diagramas de empuxo ativo devem ser considerados o empuxo de terra e o de sobrecargas.
3. No diagrama do empuxo passivo é recomendado considerar apenas o empuxo de terra quando não há garantia da atuação permanente de sobrecargas.

4. O empuxo da água é geralmente aplicado de um dos lados da cortina apenas e corresponde ao diagrama resultante (ver fig. 2-10).

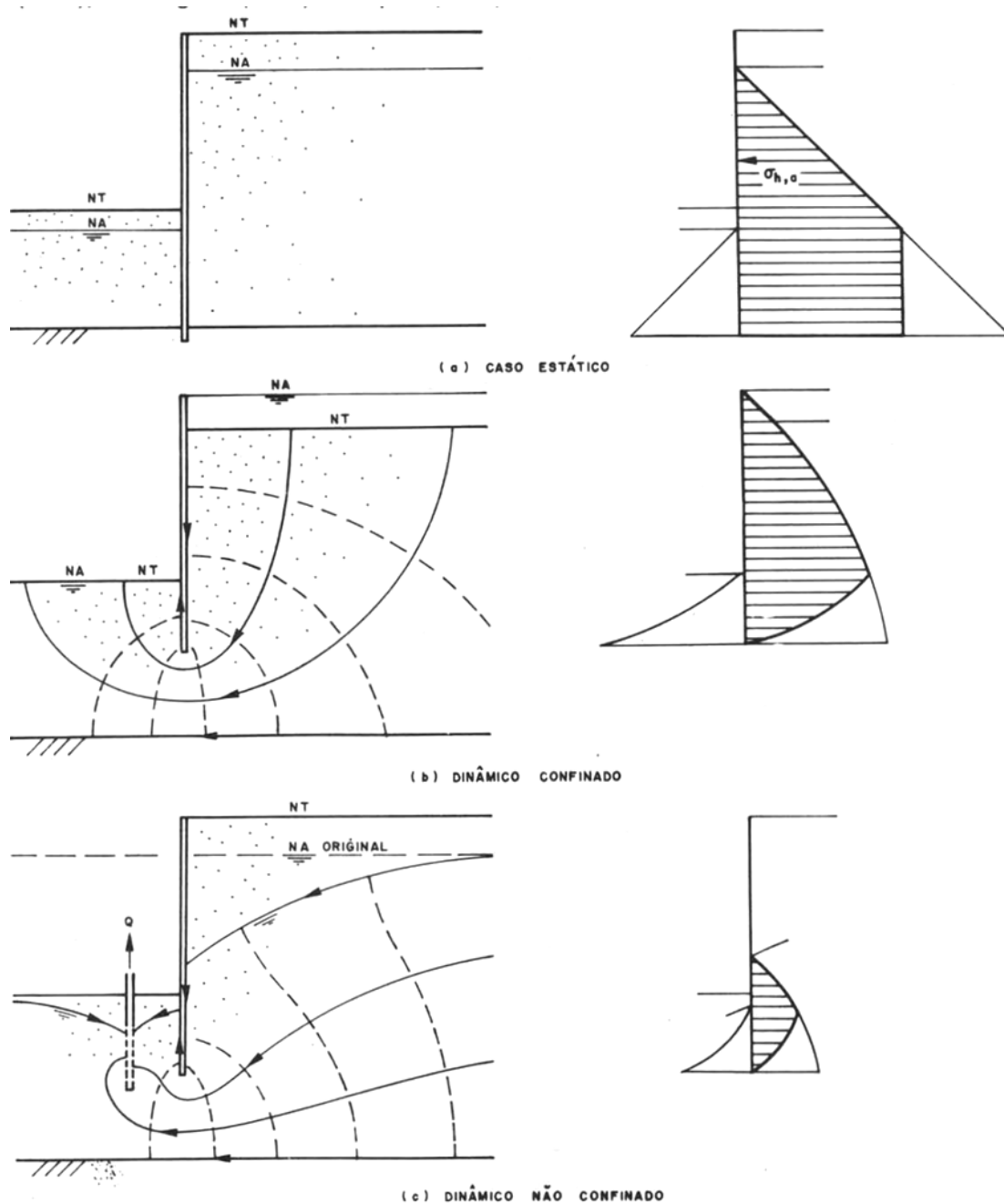


Figura 2-10 Empuxo de água resultante devido lençol freático e fluxos de água (Velloso & Lopes, 1976)

Como o empuxo passivo é um esforço resistente, deve-se aplicar um fator de segurança a ele através dos parâmetros de resistência ao cisalhamento a serem introduzidos no seu cálculo:

$$\bar{\varphi} = \arctg \frac{tg \varphi}{FS} \quad \bar{c} = \frac{c}{FS} \quad (2-26)$$

A determinação do ponto Q, que pode ser feita pelo método convencional (fig. 2-8), por tentativas, até que sejam satisfeitas as equações da estática (Somatória de momentos e de esforços nulas), ou pelo método simplificado, adotando-se o diagrama de empuxo resultante do lado escavado como um triângulo retângulo (ONQ) e o último diagrama de empuxo resultante como uma força concentrada. A posição do ponto C' é determinada pela somatória de momentos em C. A profundidade do ponto C' deve ser acrescida de cerca de 20% para se obter o ponto Q.

2.3.2.2 Método do Apoio Fixo

A aplicação deste método é feita quando o comprimento da ficha é bastante para que a parede apresente a deformada da figo 4.9a. O cálculo simplificado compreende (fig. 2-10):

- estudo da parte superior da parede, como viga, adotando-se um apoio (rótula) no ponto de momento nulo, assimilado ao ponto de pressão resultante (ativo-passivo) nula. O carregamento da viga é o empuxo resultante
- calculadas as reações nos apoios, o comprimento da ficha necessário à consideração do apoio fixo $[1,2(a+b)]$ é verificado (ou obtido) pelo estudo da parte inferior da parede, que fornecerá b através de:

$$\sum M_c = 0 \quad \therefore \quad b = \frac{E_r \cdot c}{A_n} \quad (2-27)$$

Se não houver empuxo de sobrecargas nem de água, em areias:

$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot A_n}{\gamma \cdot (K_p - K_a)}} \quad (2-28)$$

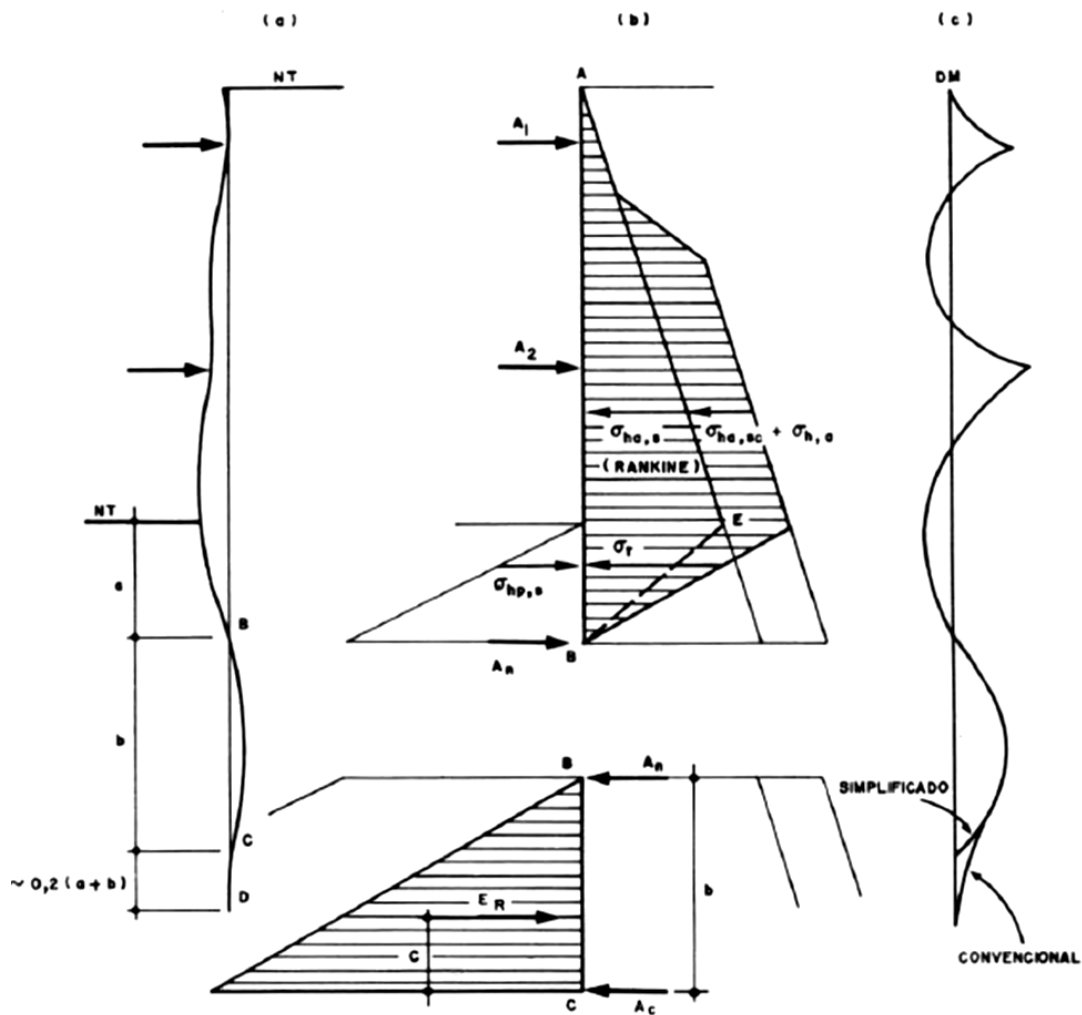


Figura 2-11 Esquema geral do método do apoio fixo (Velloso & Lopes, 1976)

2.3.2.3 Método do Apoio Livre

Caso a ficha não atenda ao comprimento mencionado no item anterior, deve-se aplicar o método do apoio livre no solo. No caso de um comprimento de ficha já estabelecido, a determinação do empuxo passivo mobilizado pode ser feita considerando-se um apoio no ponto de passagem da resultante do empuxo passivo disponível (fig. 2-11b).

Calculadas as reações nos apoios, a reação do apoio no solo deve ser menor ou igual à resultante do empuxo passivo disponível. Caso isto não aconteça, não pode ser considerado apoio no solo, mas apenas uma redução no empuxo ativo de valor igual ao passivo disponível.

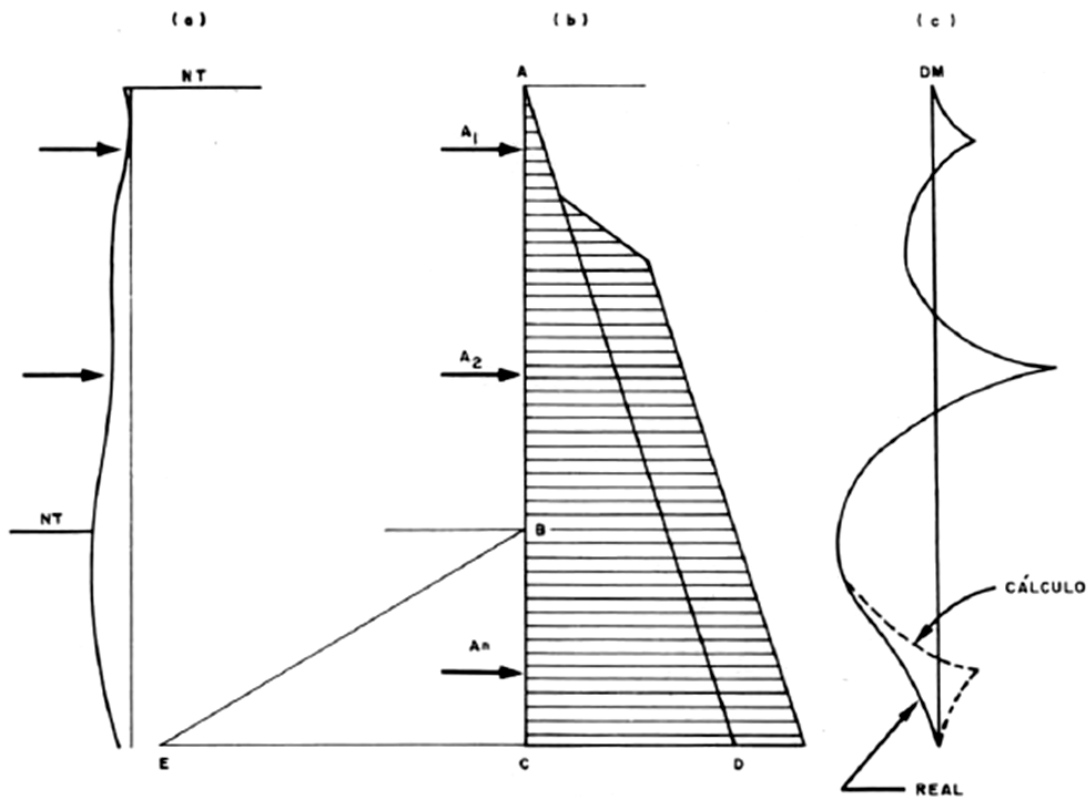


Figura 2-12 Esquema geral do método do apoio livre (Velloso & Lopes, 1976)

2.3.2.4 Método de Hansen

Brinch Hansen (1953) desenvolveu um método de cálculo de empuxos de terra que difere essencialmente dos demais por ser uma aplicação dos chamados métodos de ruptura: o problema é resolvido partindo-se de uma das possíveis configurações de ruptura da estrutura considerada, a qual definirá a movimentação do maciço e, conseqüentemente, a distribuição das pressões.

Assim, por exemplo, o cálculo de uma cortina com uma linha de ancoragens pode ser feito de acordo com um dos cinco esquemas mostrados na fig. 2-13 : As diferenças entre os esquemas consiste na movimentação da rótula plástica e na inserção de novas rótulas. Aproximadamente, esses esquemas correspondem ao que chamamos, nos métodos clássicos, de método do apoio livre no solo e método do apoio fixo no solo. Outra característica importante é que se trata de um método onde o equilíbrio é estabelecido entre forças externas majoradas e resistências internas reduzidas, mediante a aplicação, nos dois casos, de coeficientes de segurança parciais.

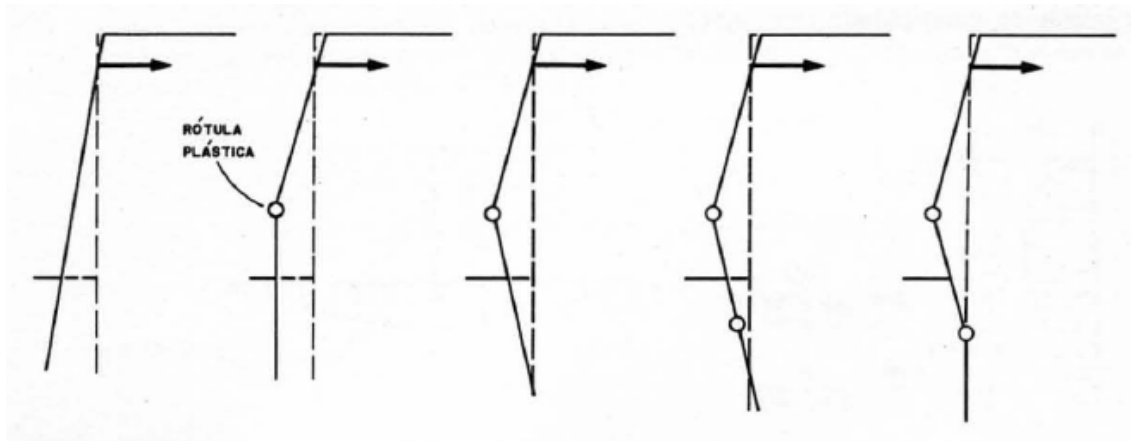


Figura 2-13 Modelo de Brinch Hansen (Velloso & Lopes, 1976)

2.3.2.5 Análises a partir do Método das Cunhas

As análises pelos métodos das cunhas são métodos que possuem por base o equilíbrio das forças atuantes em um maciço de solo e uma contenção, considerando os efeitos dos tirantes e dos empuxos ativo e passivo do solo.

Estes métodos apresentam grande aplicabilidade em dimensionamento geotécnico de estruturas de contenção tipo cortinas, porém apresenta limitações em se tratando de dimensionamento estrutural das peças que compõe estas cortina (principalmente a face).

Serão aqui expostos os principais metodologias de dimensionamento.

2.3.2.5.1 Método de Kranz (1953)

Proposto por Kranz (1953) para cortinas de estacas-prancha suportadas por uma linha de ancoragem do tipo placa, este tipo de análise de estabilidade é feita considerando-se as condições de equilíbrio do “maciço de ancoragem”, representado pelo bloco BEDC e definido como a massa de solo cujo equilíbrio assegura a estabilidade do conjunto.

O valor da reação R_a pode ser obtido pelo equilíbrio da cunha ativa ABC, considerando-se o polígono de forças (a) da Fig. 2-14, onde P_a representa o peso próprio da cunha, I_a é o empuxo ativo sobre a cortina e δ depende das condições de atrito na interface solo/cortina. Logo, em relação ao bloco ABED são conhecidas as forças R_a , P_1 e I_1 e as direções das duas resultantes R_1 e F_a , sendo, portanto, possível a determinação no polígono de forças do máximo valor da força de tração F_a^{ult} compatível com o equilíbrio.

O fator de segurança FS definido por Kranz (1953) é apresentado em termos do quociente entre a tração máxima F_a^{ult} e a tração de trabalho $F_a^{trabalho}$, que deve ser no mínimo igual a 1,5 para ancoragens provisórias e 1,75 para ancoragens definitivas, de acordo com a NBR-5629

$$FS = \frac{F_a^{ult}}{F_a^{trabalho}} \quad (2-29)$$

O cálculo do fator de segurança pode ser realizado da forma mais prática associando o equilíbrio da cunha ABC e do bloco ABED e, desta forma, eliminando as operações necessárias para a obtenção da força de reação R_a isto é: construindo-se diretamente o polígono de forças da figura 2-8 sem a inclusão de R_a .

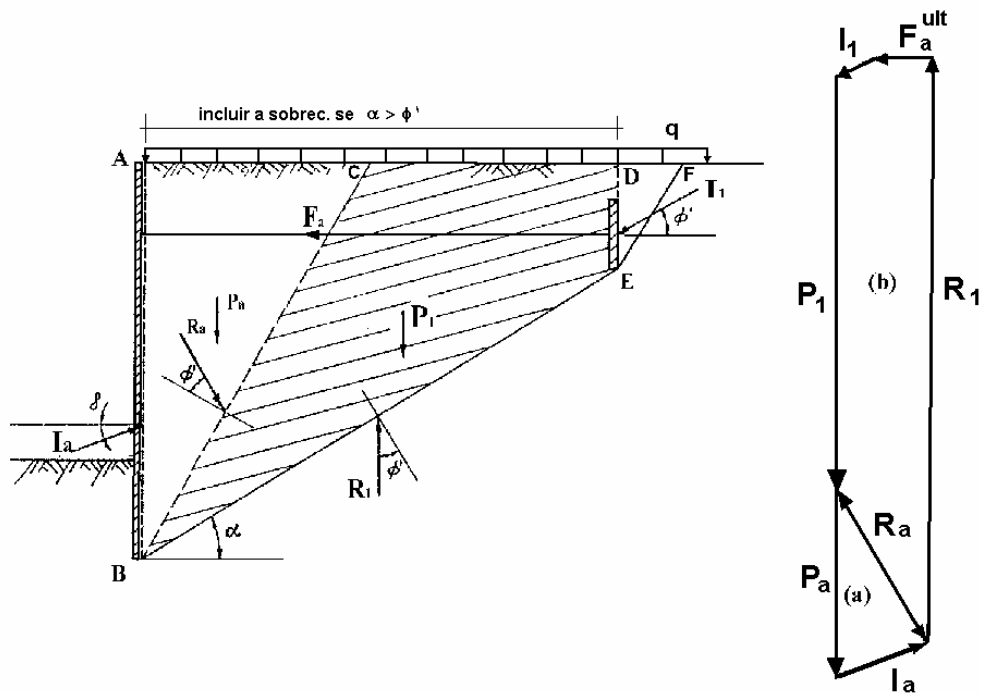


Figura 2-14 Análise de estabilidade do “maciço de ancoragem” (Kranz, 1953).

2.3.2.5.2 Método de Ranke & Ostermayer (1968)

Ranke & Ostermayer (1968) estenderam o método de Kranz (1953) para o caso de cortinas com múltiplas linhas de ancoragens protendidas. O processo de cálculo do fator de segurança é análogo, sendo o ponto E (Fig. 2-14) deslocado para o ponto médio do bulbo de ancoragem (Fig. 2-15) para formar a superfície plana de ruptura. Esta generalização do método é também conhecida no Brasil como Método Alemão (GeoRio, 2000), talvez pelo fato de ter sido incorporado nas normas alemãs e austríacas,

talvez em contraposição ao Método Brasileiro, desenvolvido por Costa Nunes e Velloso (1963).

O fato da superfície de ruptura a passar pelo ponto médio do bulbo e não pela sua extremidade justifica-se como medida de segurança para atender a eventuais diferenças entre o comprimento real da ancoragem e o comprimento de projeto. Littlejohn (1970) considerando as incertezas associadas ao comprimento real de ancoragem, propôs a consideração de todo o bulbo de ancoragem como não pertencente ao bloco cujo equilíbrio é analisado.

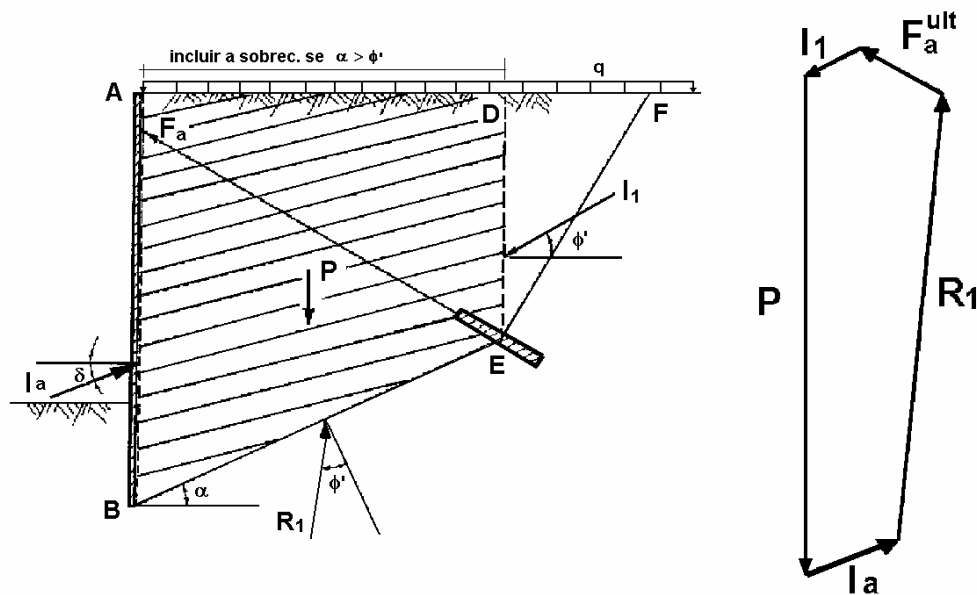


Figura 2-15 Método de Kranz generalizado (Ranke & Ostermayer, 1968).

Ranke & Ostermayer (1968) também analisaram a estabilidade global de cortinas com dois níveis de ancoragem, pesquisando diversas situações de interesse prático. Para cada caso apresentado, há necessidade de se calcular o fator de segurança para cada um dos dois segmentos em que se subdivide a superfície potencial de ruptura, fazendo uso dos polígonos de forças correspondentes. O fator de segurança global, em cada caso, é considerado como o menor dos valores calculados.

A generalização pelo Método de Kranz feita por Ranke & Ostermayer (1968) considerou apenas a situação de maciços de solo granular. Pacheco & Danziger (2001) para o caso de solos com parâmetros (c, ϕ) incluíram na construção do polígono de forças as componentes tangenciais geradas pela coesão do material.

O método de Kranz (1953) e sua generalização para ancoragens protendidas e em linhas múltiplas (Ranke e Ostermayer, 1968) apresentam a grande vantagem da simplicidade, o que incentivou sua incorporação nas normas técnicas de diversos países, mas várias deficiências, conforme identificamr Locher (1969) e Ostermayer (1977):

- a) uma superfície de ruptura curva (por exemplo, uma espiral logarítmica) fornece um fator de segurança inferior ao da superfície plana;
- b) na ruptura, a pressão de contato na cortina é maior do que o valor determinado na condição ativa;
- c) o modo de ruptura da cortina ancorada pode não favorecer a formação das superfícies do modelo de Kranz;
- d) a compatibilidade de deformações nos diferentes blocos da superfície de ruptura implica em valores variáveis do fator de segurança ao longo da mesma.

2.3.2.5.3 Método de Costa Nunes e Velloso (1963)

Para situações simples envolvendo maciço de solo homogêneo com terrapleno horizontal, ou com inclinação ψ inferior a 30° , Costa Nunes e Velloso (1963) sugeriram um método baseado em considerações de equilíbrio das forças horizontais e verticais que atuam na cunha mostrada na Fig. 2.10.

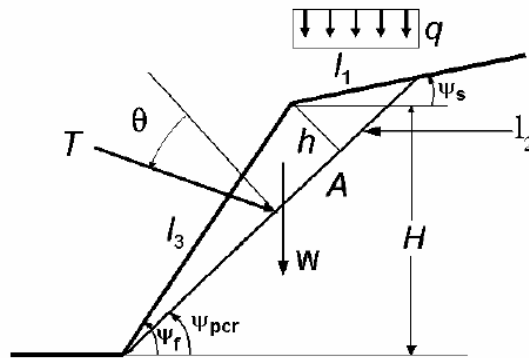


Figura 2-16 Análise de estabilidade pelo método de Costa Nunes e Velloso (GeoRio, 2000)

O fator de segurança FS foi determinado pela seguinte expressão (Hoek e Bray, 1981) considerando um talude com ausência de água.

$$FS = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \psi_{pcr} + T \cdot \cos \theta) \cdot \tan \varphi}{W \cdot \sin \psi_{pcr} - T \cdot \sin \theta} \quad (2-30)$$

onde

c é a coesão do solo

A é a área da superfície potencial de ruptura, por metro linear

W peso da cunha mais a componente devida ao carregamento distribuído na superfície do talude ($q \cdot l_1 \cdot \cos \psi$), por metro linear

ψ_{pcr} é a inclinação da superfície potencial de ruptura definida por $\psi_{pcr} = \frac{\psi_{pcr} + \varphi}{2}$

T é a força na ancoragem, por metro linear

θ é o ângulo de inclinação da ancoragem em relação à normal à superfície potencial de ruptura

φ é o ângulo de resistência ao cisalhamento do solo

2.3.2.5.4 Método de Broms (1968)

Broms (1968) propôs que o cálculo do fator de segurança para solos granulares fosse feito em termos do empuxo passivo disponível $I_p^{disponível}$ e do empuxo passivo necessário e compatível com o sistema de forças atuantes ($I_p^{necessário}$). Considerou que devido à protensão das ancoragens o conjunto formado pela cortina e o solo pode ser encarado como um grande muro de gravidade, cuja estabilidade é verificada em relação ao potencial de deslizamento pela sua base. O esforço da ancoragem e o empuxo ativo desaparecem, enquanto surgem na análise a consideração do empuxo passivo do solo na frente da cortina e a reação da ponta da cortina, que pode admitida igual à componente vertical da força na ancoragem.

Numa primeira etapa de cálculo, é construído o polígono de forças (a) da Fig. 2-11 com o ângulo de resistência ao cisalhamento real do solo φ' , sendo completamente conhecidas as forças devido ao peso P do bloco, a reação de ponta V , o empuxo ativo da cunha situada atrás do bloco I_a e as direções da reação do solo no plano potencial de ruptura e do empuxo do solo $I_p^{disponível}$ na frente da cortina. Pelo polígono de forças, o valor de $I_p^{necessário}$ pode então ser calculado. Numa segunda fase, é considerada a redução da tangente do ângulo de atrito φ_d' .

$$tg \varphi_d = \frac{tg \varphi}{1,3} \quad (2-31)$$

Com o valor de ϕ'_d obtido na Eq.2-26, o polígono de forças (b) é construído, determinando-se agora o valor de $I_p^{disponível}$. O coeficiente de segurança, cujo valor mínimo deve ser igual a 1,5 é finalmente calculado através do quociente

$$FS = \frac{I_p^{disponível}}{I_p^{necessário}} \geq 1,5 \quad (2-32)$$

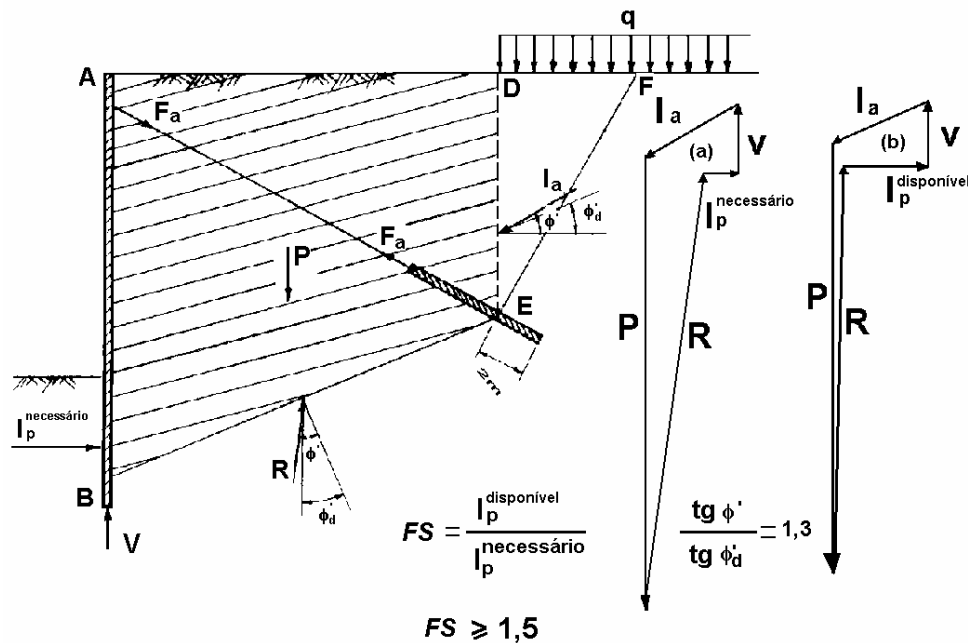


Figura 2-17 Análise de estabilidade considerando o equilíbrio do solo e da cortina (Broms, 1968).

2.3.2.6 Métodos de Equilíbrio Limite (MEL)

Este item apresenta um breve resumo dos diversos processos de análise pelo MEL no que concerne as equações incógnitas, hipóteses e condições de equilíbrio envolvidos em cada processo. Os métodos de equilíbrio limite são utilizados em se tratando de estabilidade global, para casos onde pode ocorrer ruptura generalizada.

A seguir estão relacionados os processos estudados:

- Método $\phi = 0$
- Método da Espiral Logarítmica.
- Método Taylor ou Circulo de Atrito
- Método de Fellenius ou Método Ordinário das Lamelas
- Método Gráfico de Fellenius

- Método de Bishop Completo
- Método de Bishop Modificado
- Método de Spencer
- Método Morgenstern e Price
- Método de Lowe e Karafiath
- Método de Janbu Completo
- Método de Janbu Simplificado

Todos os métodos consideram o emprego da mesma definição de coeficiente de segurança (CS), baseado na resistência ao cisalhamento.

$$CS = \frac{\textit{Tensão de cisalhamento resistente}}{\textit{Tensão de cisalhamento solicitante}} \quad (2-33)$$

ou

$$CS = \frac{c + \sigma \cdot \tan \varphi}{\tau_{solicitante}} \quad (2-34)$$

$$\tau_{solicitante} = \frac{c}{CS} + \frac{\sigma \cdot \tan \varphi}{CS} \quad (2-35)$$

Em todos os processos de análise pelo MEL, o coeficiente de segurança é definido como o fator que dividido por "c" e " ϕ " satisfaz a equação (2-27) onde a tensão de cisalhamento solicitante (σ) e a tensão normal (τ) dependem das hipóteses adotadas em cada processo.

Nas páginas a seguir são apresentadas tabelas com as condições de equilíbrio satisfeitas pelo MEL e com as equações e incógnitas envolvidas nas condições de equilíbrio para os diversos processos de análise.

Tabela 2-12 Condições de equilíbrio satisfeitas pelos diversos Métodos de Equilíbrio Limite (MEL)

Método de Análise	Condições de Equilíbrio Satisfeitas						Tipo de Superfície de Ruptura
	Total			Individual por Lamela			
	Momento	F _{Vertical}	F _{Horizontal}	Momento	F _{Vertical}	F _{Horizontal}	
$\varphi = 0$	Sim	Sim ¹	Sim ¹	Não são Métodos de Lamelas			Circular
Espiral Logarítmica	Sim	Sim ¹	Sim ¹				Espiral Logarítmica
Taylor ou Círculo de Atrito	Sim	Sim	Sim				Circular
Fellenius	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Circular
Fellenius Gráfico	Sim ²	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Sim	Sim	Qualquer ³
Bishop Completo	Sim	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Sim	Sim	Circular
Bishop Modificado	Sim	Sim ¹	Não	Não	Não	Não	Circular
Spenser	Sim	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Sim	Sim	Qualquer ²
Morgentern e Price	Sim ¹	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Sim	Sim	Qualquer
Lowe e Karafiath	Não	Sim ¹	Sim ¹	Não	Sim	Sim	Qualquer
Jambu Completo	Sim ¹	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Sim	Sim	Qualquer
Jambu Simplificado	Não	Sim ¹	Sim ¹	Não	Sim	Sim	Qualquer

² Indica que esta condição do equilíbrio é satisfeita implicitamente como resultado direto das considerações das outras condições de equilíbrio.

³ A apresentação original deste método foi feita apenas para superfícies circulares

Tabela 2-13 Equações e incógnitas envolvidas nas condições de equilíbrio para diversos processos de análise pelo MEL.

Método de Análise	Incógnitas							Equações							
	Equilíbrio das Forças				Equilíbrio dos Momentos			Total	Equilíbrio das Forças				Equilíbrio dos Momentos		Total
	Força Normal na Base da Lamela	Força Normal (ou resultante) entre lamelas	Força de Cisalhamento entre Lamelas	Fator de Segurança	Pontos de Ação da Força Normal na Base da Lamela	Ponto de Ação de Forças Resultantes entre Lamelas	Total		Individual por Lamelas		Total	Individual por Lamelas			
							Forças Verticais		Forças Horizontais	Forças Verticais			Forças Horizontais		
$\phi = 0$	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	
Espiral Logarítmica	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	
Taylor ou Círculo de Atrito	1	-	-	1	1	1	3	1	1	-	-	1	-	3	
Fellenius	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	
Fellenius Gráfico	n	n-1	$n-1^4$	1	-	$n-1^3$	$4n-2$	-	-	n	n	-	n	$3n$	
Bishop Completo	n	n-1	$n-1^3$	1	-	n-1	$4n-2$	-	-	n	n	1	n-1	$3n$	
Bishop Modificado	n	-	-	1	-	1	$n+1$	-	-	n	-	1	-	$n+1$	
Spenser	n	n-1	1	1	-	n-1	$3n$	-	-	n	n	1	n-1	$3n$	
Morgentern e Price	n	n-1	1^5	1	-	n-1	$3n$	-	-	n	n	-	n	$3n$	
Lowe e Karafiath	n	n-1	-	1	-	-	$2n$	-	-	n	n	-	-	$2n$	
Jambu Completo	n	n-1	-	1	n	-	$3n$	-	-	n	n	-	n	$3n$	
Jambu Simplificado	n	n-1	-	1	-	-	$2n$	-	-	n	n	-	-	$2n$	

⁴ Várias suposições podem ser feitas com relação às forças interlamelares para tornar o sistema estaticamente determinado. Estas suposições não são rigorosamente especificadas para o particular método de análise.

⁵ Representa uma simples incógnita que é o fator escalar “ λ ”. Este fator define a inclinação da força interlamelar para a função $f(x)$ escolhida.

2.3.3 Análise Numérica (Método dos Elementos Finitos)

Uma grande parcela dos problemas de engenharia não possui solução analítica viável, pois envolvem muitos materiais e condições de contorno complexas. Assim, para a resolução desses problemas, a adoção de simplificações e aproximações utilizando métodos numéricos (em particular o Método dos Elementos Finitos) que conduzindo a resultados aproximados são uma solução alternativa para estes problemas.

Aliado à dificuldade acima, observa-se que os métodos convencionais de estabilidade de taludes são baseados no conceito do equilíbrio limite, permitindo apenas o cálculo do coeficiente de segurança mínimo. Cada método supõe uma distribuição de tensões decorrente do equilíbrio de forças e/ou momentos sem considerar as curvas tensão deformação dos materiais envolvidos na hipotética ruptura do talude.

Frente ao exposto, para se elaborar uma análise no MEF torna-se necessário a definição de um “plano de ataque”, ou seja, de uma sequência de entrada de dados e de atribuições que pode levar o estudo de uma estrutura simples desde uma análise simples a uma mais complexa. O que se sabe é que conhecendo-se bem o programa a ser utilizado, uma análise simples pode demandar poucos dias de trabalho, enquanto análises mais complexas podem consumir semanas do engenheiro. A maior parte do tempo é despendida na avaliação da forma de abordar o problema (modelos de comportamento, eventos a simular, etc.) e na escolha de parâmetros e materiais e na interpretação dos resultados (Lopes, 2006).

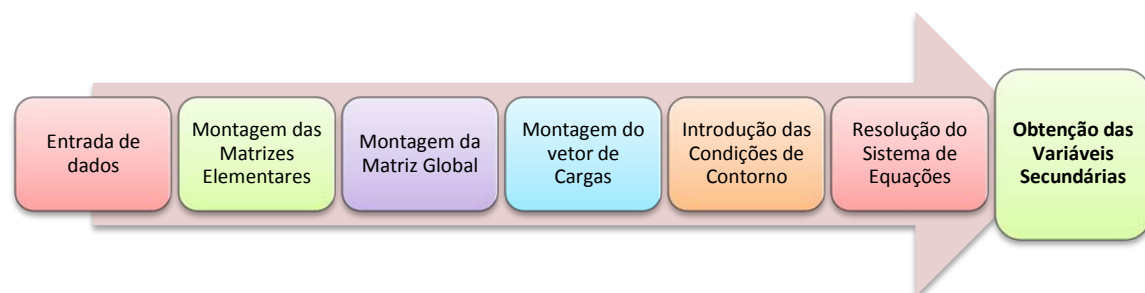
A estratégia básica para a implementação de um modelo de Elementos Finitos passa em primeiro lugar pelos objetivos do estudo, qual o tipo de análise e a quantidade de qualidade dos dados disponíveis. A partir do conhecimento destas questões será possível definir-se qual o grau de aprofundamento que deverá possuir a análise do problema, se há sentido se desenvolver uma análise sofisticada ou devido as informações pobres sobre a estratigrafia do local é desejável uma análise mais simples (Lopes, 2006).

A estratégia de uma análise consiste basicamente na definição das seguintes questões:

- i. domínio de análise,
- ii. condições de contorno,
- iii. rede de elementos finitos,
- iv. modelo de comportamento dos materiais,
- v. propriedades dos materiais e
- vi. formas de simular os principais fenômenos ou eventos

O MEF consiste na divisão do domínio do problema em elementos, cujo comportamento pode ser facilmente formulado em função de sua geometria e propriedades, conectados apenas em alguns pontos que interagem entre si. Como a divisão do domínio pode ser qualquer, este método apresenta grande vantagem no tratamento de casos com geometria complexa. Ainda, cada elemento pode ter propriedades próprias, o que permite resolver casos em maciços heterogêneos (Velloso & Lopes, 2010).

A solução da equação principal (formuladora do problema) baseia-se na eliminação da equação diferencial original (estado estacionário problemas), ou transformando-a em um sistema de equações diferenciais ordinárias aproximadas, que são depois integrados numericamente usando as técnicas padrão, tais como método de Euler e o de Runge-Kutta.



Na resolução de equações diferenciais parciais, o principal desafio é criar uma equação que se aproxima da equação estudada, porém numericamente mais estável, isso significa que os erros nos dados de entrada e intermediária cálculos não acumular e causar a saída resultante para ser sentido.

2.3.3.1 Influência das Tensões Iniciais (K_0)

Se considerarmos um maciço hipoteticamente homogêneo com superfície do terreno horizontal, e para um dado valor do coeficiente de empuxo em repouso podemos concluir que a tensão de cisalhamento máxima será igual a:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_h - \sigma_v}{2} \quad (2-36)$$

$$r_u = u / \gamma \cdot z \quad (2-37)$$

$$K - r_u = K_0 \cdot (1 - r_u) \quad \therefore \quad K = K_0 + r_u \cdot (1 - K_0) \quad (2-38)$$

$$\tau_{max} = \frac{K_0 - 1}{2} \cdot \gamma \cdot z \quad (2-39)$$

onde:

γ = peso específico do natural do solo;;

z = profundidade;

σ_v = tensão vertical total;

σ_h = tensão horizontal total;

K = coeficiente de empuxo em termos de tensões totais;

K_0 = coeficiente de empuxo em termos de tensões efetivas;

r_u = coeficiente de pressão neutra

u = pressão neutra.

e que neste caso o plano de tensão o de cisalhamento máximo formara 45° com a horizontal para qualquer parte do maciço.

Pode-se verificar pelas equações acima apresentadas que quanto maior o valor do coeficiente de empuxo. Maior será a tensão de cisalhamento máximo inicial.

A escavação de um maciço, conforme acima descrito, provocaria uma reorientação das inclinações das tensões máxima de cisalhamento de ponto para ponto, cujo aumento de magnitude dependeria das tensões iniciais e inclinações do talude (Chowdhury, 1978).

Segundo Chowdhury (1978) as tensões de cisalhamento resultantes da escavação de taludes em argilas sobre adensadas (k_0 elevados) são maiores do que as correspondentes em taludes de solo com baixos valores do coeficiente de empuxo.

O aumento do valor da tensão de cisalhamento máxima e a mudança de direção podem acarretar em rupturas localizadas mesmo para taludes com coeficientes de segurança pelo MEL, elevados (Imaizumi, Koshima, Lozano, & Pacheco, 1981).

Para quantificar isso (Duncan & Dunlop, 1970) apresentam um estudo que pode ser sintetizado nas tabelas 2-14 e 2-15. A primeira tabela apresenta a porcentagem de aumento da tensão de cisalhamento máxima em relação ao valor inicial para dois valores de K_0 , e a segunda mostra a comparação da resistência não drenada requerida para evitar a ruptura, com base em duas condições:

- a) Maior tensão de cisalhamento solicitada pelo MEF;
- b) Valor da tensão de cisalhamento média pelo método $\varphi = 0$ (MEL)

Tabela 2-14 Aumento percentual devido a escavação na maior tensão cisalhante como proporção da tensão vertical (Duncan & Dunlop, 1970)

Inclinação do talude	$K_0 = 0,81$	$K_0 = 1,60$	Localização
3:1	36,0	16,6	Base
3:2	89,5	30,0	Base
Vertical	500,0	237,0	Pé
Vertical c/ corte em Base Rígida	710,0	340,0	Pé

Nota: valores maiores de $\tau_{max}/\gamma \cdot H$ foram mais elevados em $K_0 = 1,60$ devido a alta tensão cisalhante.

Tabela 2-15 Comparação da resistência ao cisalhamento requerida para a prevenção de ruptura (Duncan & Dunlop, 1970)

Inclinação do talude	K	$S_u/\gamma \cdot H$		$\frac{a}{b}$
		a) Maior Tens. Cisalhante	b) Valor Típico	
3:1	0,81	0,31	0,160	1,94
	1,60	0,70		4,37
3:2	0,81	0,36	0,175	2,06
	1,60	0,78		4,45
Vertical	0,81	0,57	0,260	2,19
	1,60	1,01		3,89
Vertical c/ corte em Base Rígida	0,81	0,77	0,260	2,96
	1,60	1,32		5,07

Nota: os valores convencionalmente determinados por $\varphi = 0$ referiram-se a tensão média da tabela original

A partir dos resultados apresentados nas tabelas 12 e 13 pode-se concluir que:

- a) O coeficiente de segurança local diminui com o aumento do coeficiente de empuxo;
- b) O coeficiente de segurança local é menor do que o correspondente ao MEL para qualquer coeficiente de empuxo e inclinação do talude.

Dunlop e Duncan (1970) utilizaram curva tensão deformação bilinear, para estudos de zonas de ruptura em taludes escavados, onde o módulo de elasticidade é função do nível de tensões, e que a partir da ruptura se reduz a um valor próximo do zero. E, adotando para isso, que a resistência não drenada fosse constante ou aumentasse com a profundidade. A partir desses estudos os autores chegaram ao seguinte:

- a) Para argilas com valores dos coeficientes de empuxo maior do que um ($k > 1$) as zonas de ruptura se desenvolvem próximas ao pé do talude e progridem para seu interior, mas para argilas com baixos valores do coeficiente de empuxo as zonas de ruptura progridem para baixo;
- b) Quando a resistência aumenta com a profundidade as zonas de ruptura surgem próximas a crista e progridem, para baixo, e vice-versa quando a resistência é constante;
- c) Quando a escavação alcança um estágio onde a zona de ruptura cerca uma grande parte da região adjacente ao talude de uma argila normalmente adensada, o coeficiente de segurança pelo MEL está próximo de um. O mesmo não ocorre para taludes de argilas sobre adensados onde o coeficiente de segurança obtido foi da ordem de dois.

Lo e Lee (1973) apresentam um estudo pelo MEF, em que é utilizado o modelo elástico linear com critério de resistência, através do qual mostram que com o aumento do coeficiente de empuxo (k_0) há um aumento da zona de ruptura.

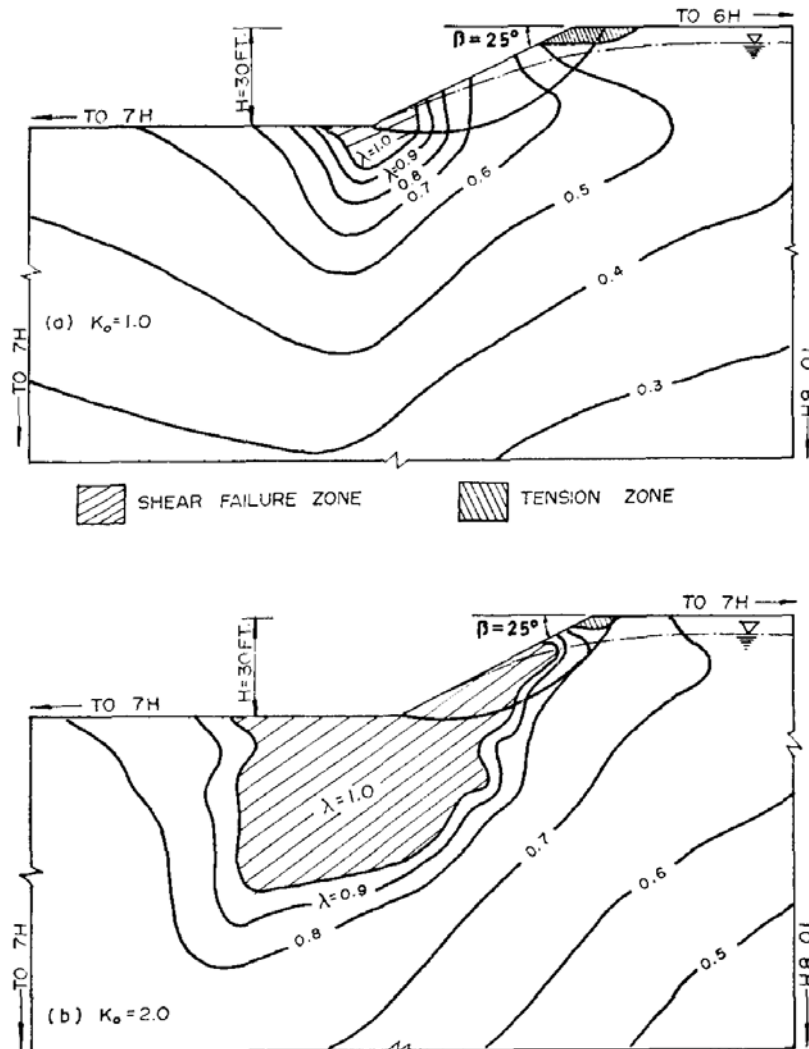


Figura 2-18 Curvas de nível de esforço cortante com $K_0 = 1$ e $K_0 = 2$ para taludes de 30 pés (Lo & Lee, 1973).

2.3.4 Discussão sobre os Métodos de Dimensionamento

A comparação entre os diversos MEL no estudo realizado por Lozano (1977), indica valores dos coeficientes de segurança obtidos por diversos MEL para taludes homogêneos são praticamente iguais, apresentando diferenças de aproximadamente $\pm 9\%$ em relação ao método de Morgenstern e Price. Com exceção do método de Fellenius que apresenta diferenças de até 50% quando é considerada a presença de água.

Conforme o manual do CEEA (1996), muitos métodos para projeto de contenções ancoradas foram propostos e classificados como Método “Free Earth Support” e variações das hipóteses do Método “Fixed Earth Support”. Pesquisas e experiências ao longo de anos têm mostrado que o projeto de contenções pelo Método “Free Earth

Support” é suficientemente estável para contenções com pouca penetração comparado com aquelas projetadas pelo Método “Fixed Earth Support”. Devido à flexibilidade das estacas pranchas, o Método “Free Earth Support” leva a maiores momentos do que aqueles que realmente ocorrem. Este fato pode ser resolvido usando o método das curvas de redução de momentos de Rowe. No Método “Free Earth Support”, a ancoragem é assumida como um apoio simples em torno do qual a contenção gira como um corpo rígido. Apesar da tendência da contenção produzir uma condição passiva no solo sustentado acima da ancoragem, é assumido que a contenção está somente sujeita a distribuição de empuxos ativos. A requerida profundidade de penetração é determinada a partir da soma de equilíbrio de momentos ao redor da ancoragem, que deve ser zero. Depois que a profundidade de penetração for determinada, a força na ancoragem é obtida a partir do equilíbrio das forças horizontais. Uma vez que a posição da ancoragem afeta ambos, profundidade da penetração e força na ancoragem, pode ser necessário considerar várias posições de ancoragem para chegar a combinação ideal. Para uma estimativa inicial, a ancoragem deve ser assumida a uma distância inicial do topo da contenção entre 1/5 e 1/4 da altura da contenção.

Segundo Bowles (1982), utilizando-se dos métodos clássicos, Rowe (1952 e 1957) reconheceu que os momentos fletores obtidos seriam muito elevados e então propôs uma redução neste esforço solicitante dependendo se a vala está imersa em areia ou argila. O autor mostra que através de Método Analítico obteve-se diretamente o “momento reduzido” que se chegaria utilizando-se a teoria de Rowe. Assim, afirma Bowles (1982), a teoria de viga sobre fundação elástica (Modelo de Winkler) pode ser diretamente utilizada para paredes de contenção.

O Método “Fixed Earth Support” é sugerido pela BS 8002/94 para projetos rotineiros, mas na prática, segundo os trabalhos de Rowe (1952) e Terzaghi (1954), a maioria dos engenheiros geotécnicos no Reino Unido atualmente usam uma forma do Método “Free Earth Support” modificado para levar em conta a flexibilidade da contenção, pois tem se mostrado mais econômico (Clayton et al.,1993).

Ao comparar os dois métodos, Fang (1991) afirma que para solos sem coesão, o projetista pode escolher entre os Métodos “Free Earth Support” e o “Fixed Earth Support” (normalmente este último mais econômico, segundo o citado autor). Já, no caso de solos coesivos, esta escolha só está disponível quando o solo abaixo do fundo

da escavação for relativamente rígido, dependendo da altura da contenção. De outra forma, o Método “Free Earth Support” será necessário, a não ser que longas estacas sejam usadas e assim recair-se em uma situação antieconômica.

Quando o projeto é feito com base no Método “Free Earth Support” os cálculos a partir dos diagramas de empuxo de terra tornam-se mais simples. Ao contrário, o cálculo pelo Método “Fixed Earth Support” é bem mais trabalhoso (Tacitano, 2006).

3 MODELAGENS DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM MEF E COEFICIENTE DE REAÇÃO

O projeto de contenções é, via de regra, realizado através de análises simplificadas ou aproximações empíricas. Cada conjunto de hipóteses simplificadoras origina métodos de cálculo. A luz disto, sabe-se que uma solução teórica necessitaria de todas as variáveis do problema além de um determinado grau de homogeneidade do solo usualmente incompatível com a realidade dos solos onde se aplicam estruturas de contenção.

Tendo em vista estas dificuldades, a simplificação utilizando a representação do solo como “molas” atuando em uma estrutura apresenta algumas peculiaridades que tornam este modelo atrativo em análises estruturais.

A dificuldade, porém, reside na necessidade da determinação desses coeficientes de reação de forma a caracterizar adequadamente o solo estudado.

Com esta finalidade desenvolveu-se a metodologia de determinação do Módulo de Reação Horizontal via Redes Neurais, tendo como base os resultados obtidos de modelagens em MEF e validadas pelos resultados obtidos no estudo de caso da obra do Metrô-Rio cujos objetos de análise foram paredes diafragma multi-escoradas em presença de solos argilosos.

3.1 DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE REAÇÃO VIA REDES NEURAS

Usualmente os dados estudados por Redes Neurais (RN) são obtidos via observações *in loco*, e apresenta a característica marcante de possuir uma correlação com o resultado desejado, porém esta correlação é complexa e eventualmente qualitativas. Porém nesta dissertação os dados de entrada da Rede Neural (RN) foram obtidos por uma metodologia pouco usual para este tipo de técnica. Estes dados foram construídos a partir de resultados de modelagens em MEF com dados típicos de solos e cortinas.

A principal dificuldade enfrentada na adoção de coeficientes de reação em uma análise numérica é a determinação do carregamento da estrutura, pois bem sabe-se que o

carregamento real da estrutura assume uma série de variações devido o estado do solo (ativo / repouso / passivo) e da variabilidade dos materiais.

De forma a contornar estas dificuldades a Rede Neural irá fornecer os coeficientes de reação aplicáveis a um carregamento conhecido (e típico) do solo, considerando a teoria de Rankine, porém o conjunto de entrada da rede considera os carregamentos obtidos na modelagem em elementos finitos.

Para o conjunto de validação e teste foi utilizado os resultados obtidos na dissertação de doutoramento de Soares (1981), cujo objeto de análise foram paredes diafragma multi-escoradas do Metrô-Rio, que apresentou uma intensa campanha de investigação geotécnica, permitindo a caracterização do coeficiente de reação horizontal.

3.1.1 Obtenção dos Dados de Entrada

As análises em MEF empregadas para a montagem do banco de dados da Rede Neural consideraram apenas perfis uniformes de solo, sendo variado nestes perfis os seguintes parâmetros:

Parâmetros estruturais: Procurou-se adotar variações compreendendo seções típicas de estruturas empregadas em projetos (no presente caso, parede diafragma de grande inércia e cortina de estacas hélice justapostas)

- Inércia
- Área da seção
- Módulo de elasticidade da seção
- Geometria da cortina (vão livre e ficha)

Parâmetros geotécnicos: para simplificar o banco de dados optou-se por realizar modelagens com perfis geotécnicos uniformes, onde cada modelo apresentará diferentes:

- Peso específico
- Módulo de elasticidade
- Coeficiente de Poisson
- Ângulo de atrito
- Coesão

3.1.1.1 Estudo das Variáveis

Antes de iniciar-se a montagem do banco de dados da Rede Neural serão desenvolvidos estudos de sensibilidade dos parâmetros empregados nas análises em relação ao coeficiente de reação para a minimização de análises em MEF.

Terzaghi (1955) observou que os coeficientes de reação do solo independem das propriedades geométricas.

Dado isto optou-se por verificar esta correlação desenvolvendo uma série de modelagens variando os parâmetros da cortina (Módulo de Elasticidade, Momento de Inércia e Área da Seção) e mantendo fixo os parâmetros do solo (ver figura 3-1).

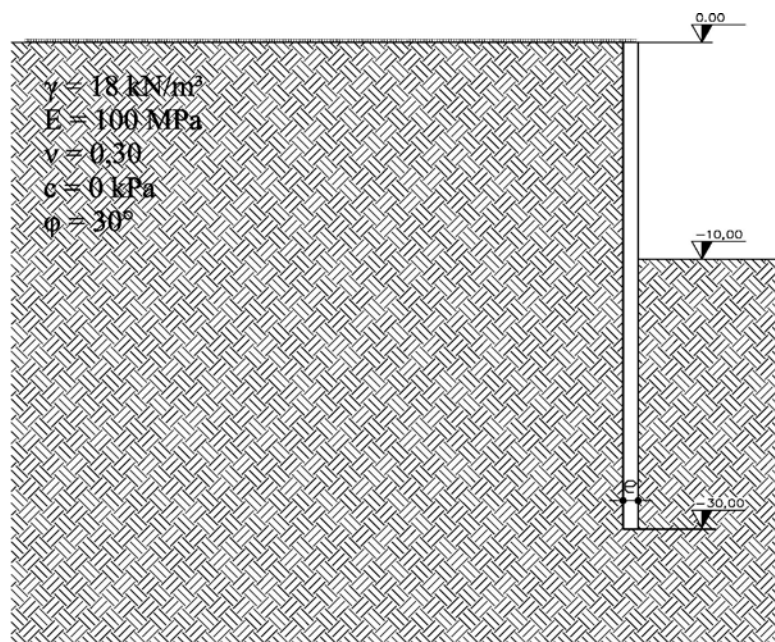


Figura 3-1 Seção tipo utilizada no estudo de sensibilidade das propriedades da cortina

O comprimento da cortina inicialmente foi fixado em 30 metros, sendo 20 metros de ficha. Verificou-se as correlações entre o coeficiente de reação com as propriedades geométricas das estruturas em um solo arenoso com as seguintes propriedades:

- $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- $E = 100 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,30$
- $c = 0 \text{ kPa}$
- $\phi = 30^\circ$

A determinação do coeficiente de reação utilizou os resultados dos deslocamentos horizontais apresentados no Modelo em Elementos Finitos para a determinação do coeficiente de reação.

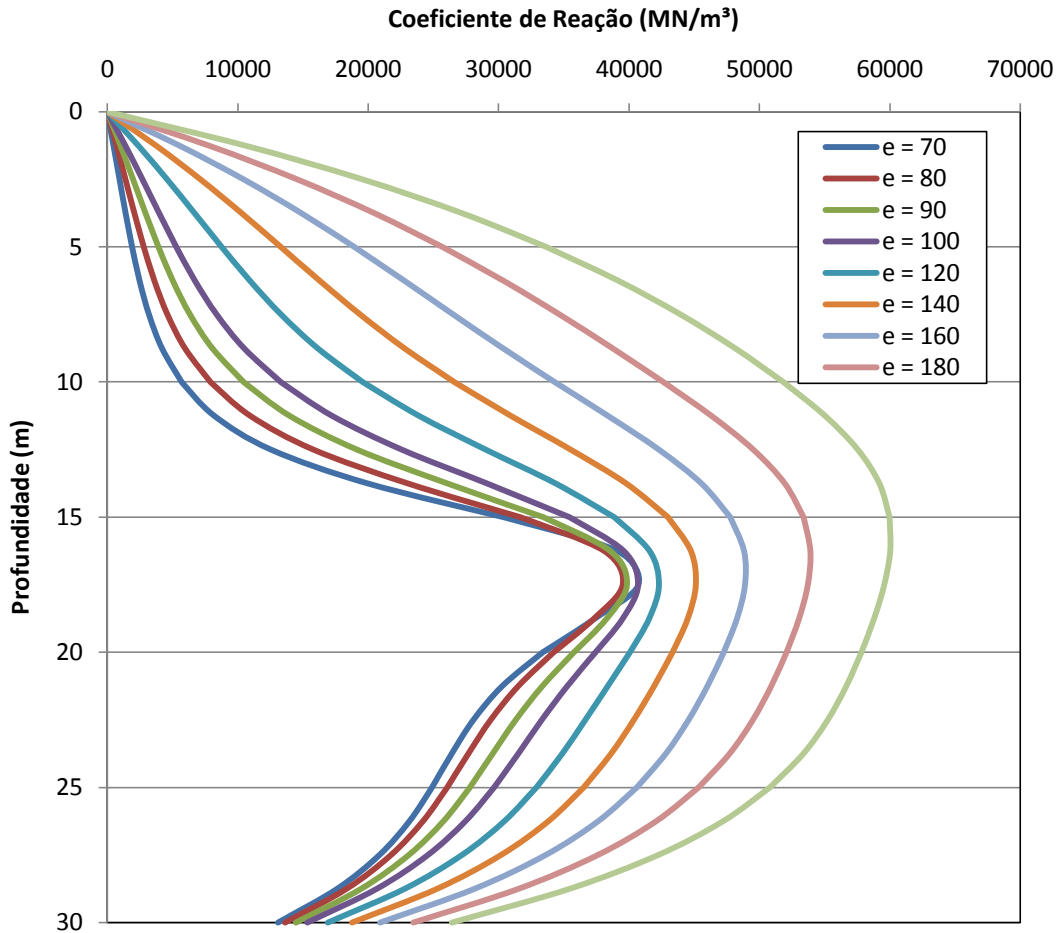


Figura 3-2 Resultados do estudo de sensibilidade dos coeficientes de reação pela variação da espessura da cortina

Os resultados obtidos indicaram coeficientes de reação com pouca sensibilidade em relação a espessura da parede em se tratando de paredes delgadas (espessuras inferiores a 1 metro) e um aumento no coeficiente de reação em se tratando de paredes muito rígidas (espessura superior a 1 metro), conforme ilustrado na figura 3-2.

Tendo em vista estes resultados, além dos padrões típicos adotados em estruturas de contenção modernas (paredes delgadas) o estudo paramétrico para a criação do banco de dados a ser utilizado na modelagem da Rede Neural irá adotar em concreto com espessura de 80 cm, não estudando a interferência dos parâmetros da estrutura na definição do coeficiente de reação.

3.1.1.2 Montagem do Banco de Dados

Para a determinação dos coeficientes de reação do solo foram utilizadas modelagens em Elementos Finitos com diversos parâmetros, variando dentro de valores coerentes de Módulos de Elasticidade, Coeficiente de Poisson, Coesão, Ângulo de Atrito e Peso Específico do solo, além das propriedades da cortina.

O comprimento da cortina foi fixado em 40 metros, e os parâmetros empregados nas análises estão apresentados nas tabelas 3-1 e 3-2.

Tabela 3-1 Parâmetros das modelagens de areias para montagem do Banco de Dados

Densidade	SPT	γ	E	v	c	ϕ
		kN/m ³	MPa		kN/m ²	
Fofa	< 10	18	10	0,25	0	30°
Média	10-30	19	50	0,30	0	35°
Densa	> 30	20	80	0,35	0	37°

Tabela 3-2 Parâmetros das modelagens de argilas para montagem do Banco de Dados

Consistência	SPT	γ	E	v	c	ϕ
		kN/m ³	MPa		kN/m ²	
Muito Mole	< 2	15	1	0,49	10	0°
Mole	2 - 4	16	2	0,49	20	0°
Média	4 - 8	17	5	0,45	40	0°
Rija	> 8	18	8	0,40	100	0°

Os resultados das modelagens com os parâmetros acima apresentados estão expostos nas figuras 3-3 a 3-9, a seguir.

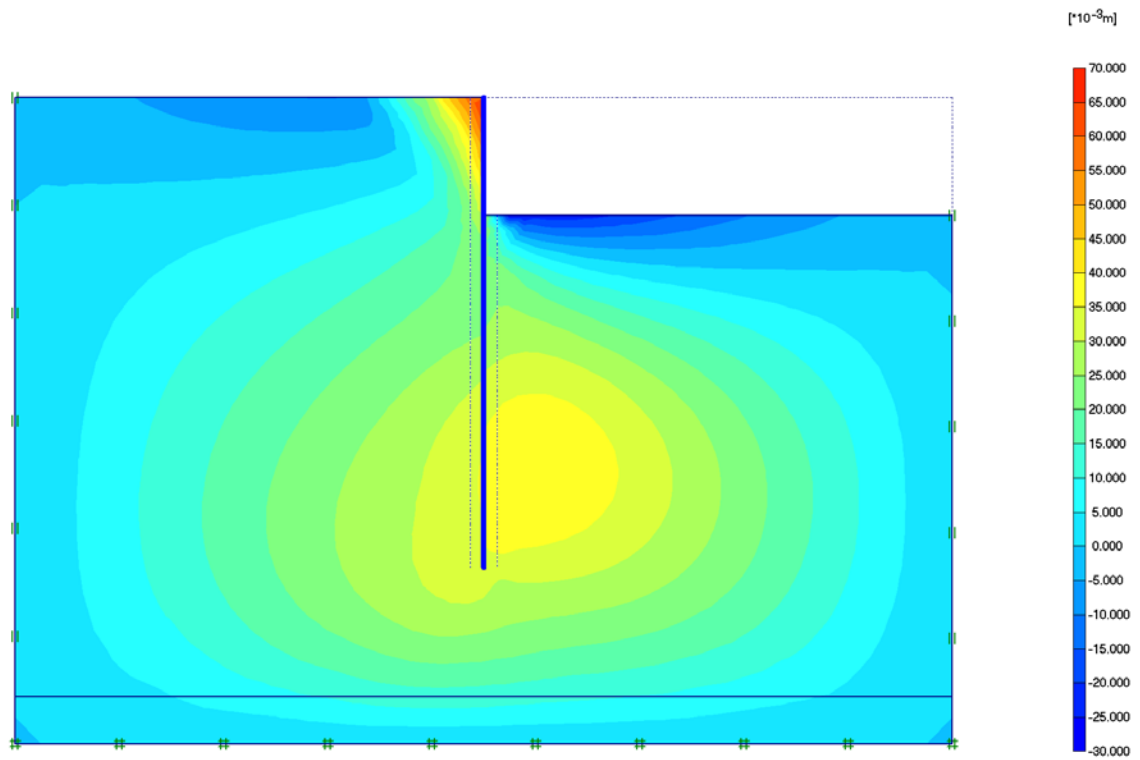


Figura 3-3 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia fofo

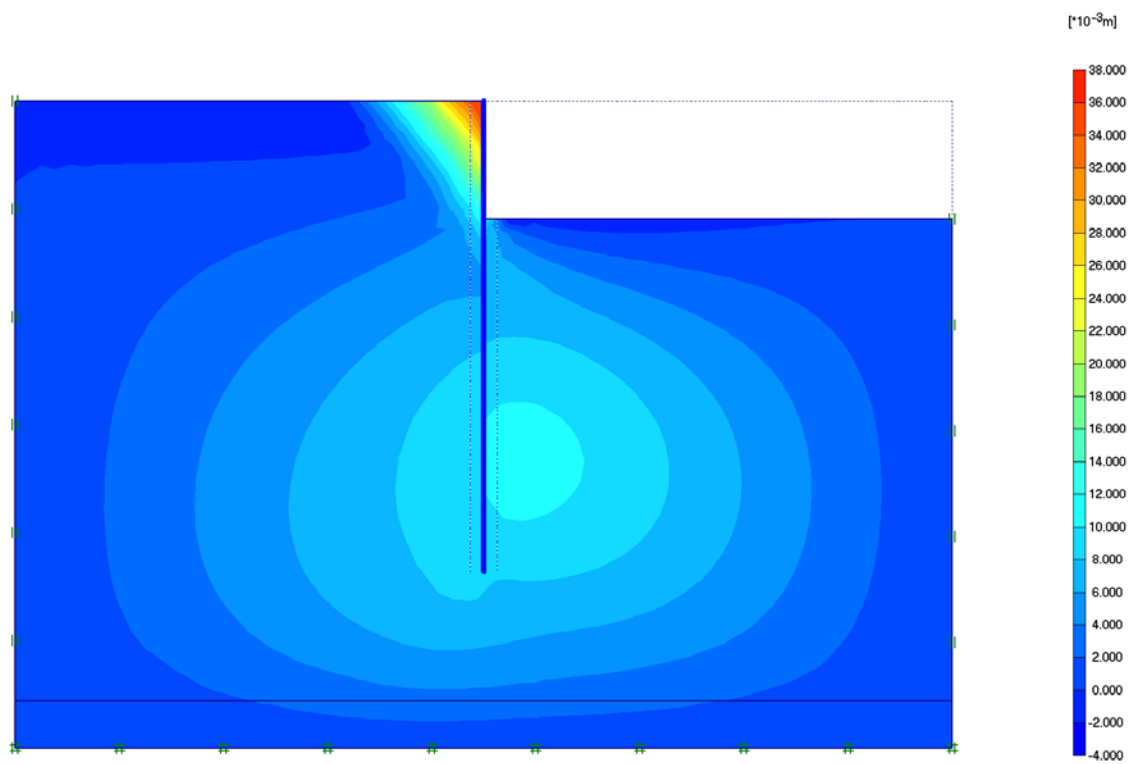


Figura 3-4 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia medianamente compacta

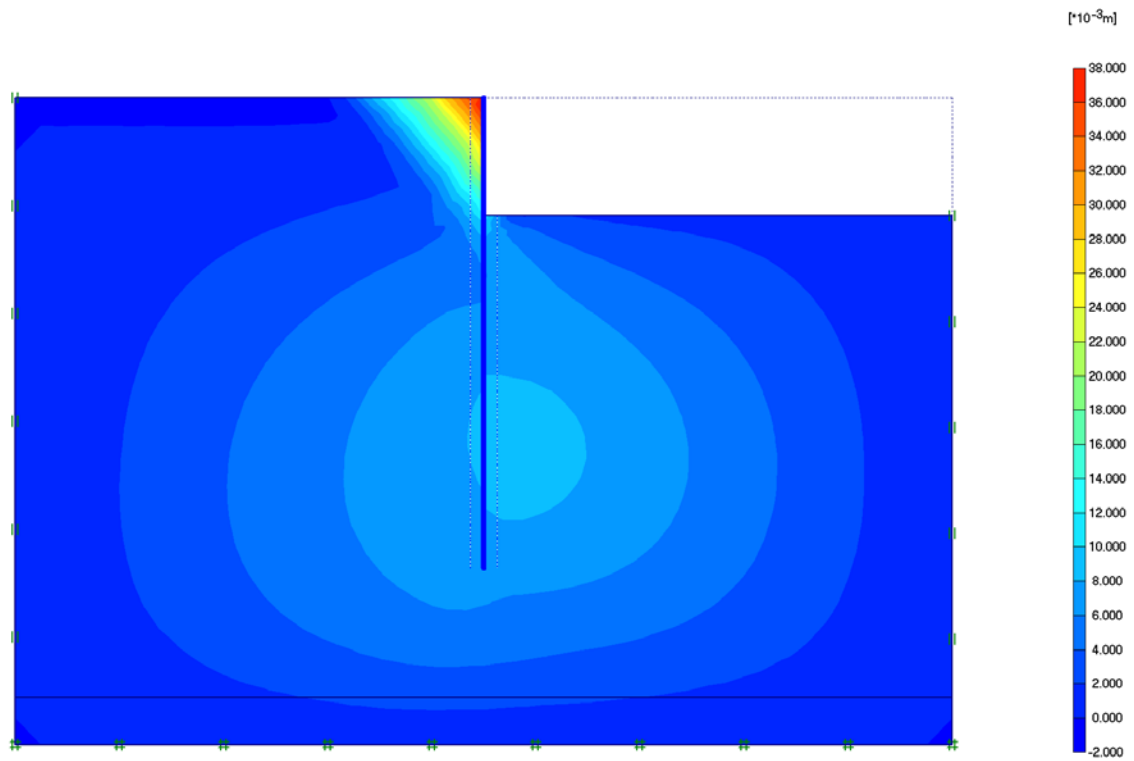


Figura 3-5 Deslocamentos horizontais no modelo em MEF de areia compacta

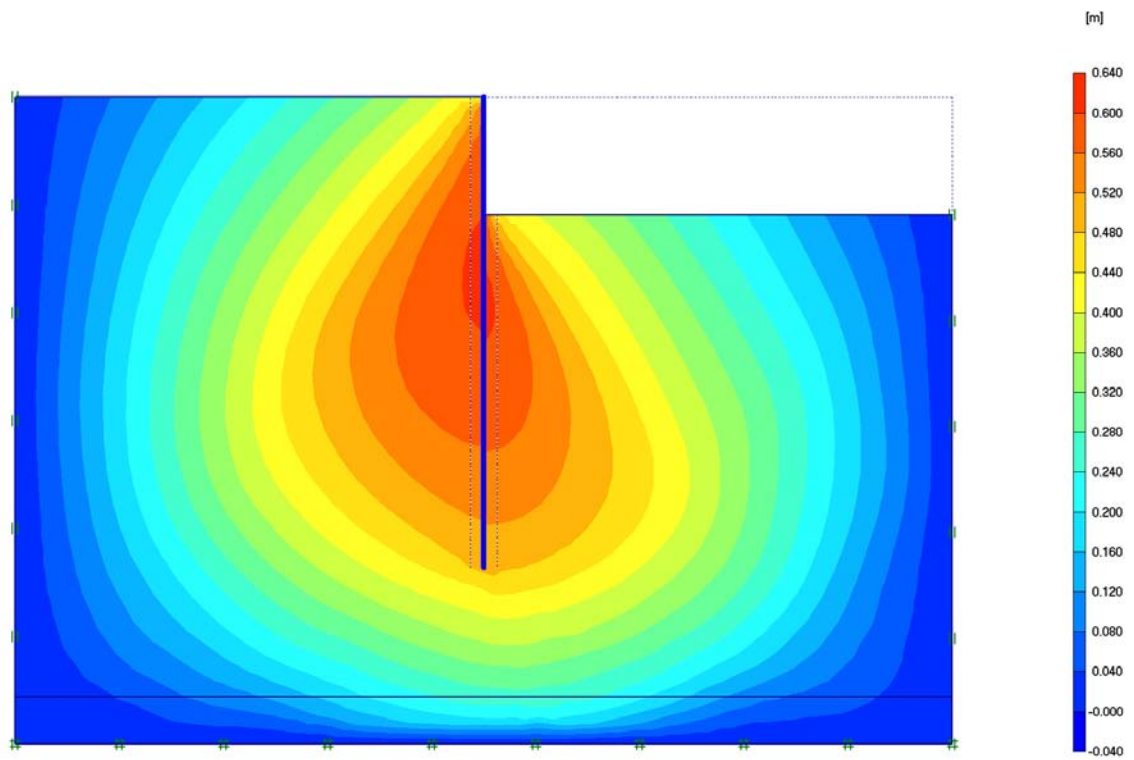


Figura 3-6 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila muito mole (carregamento não-drenado)

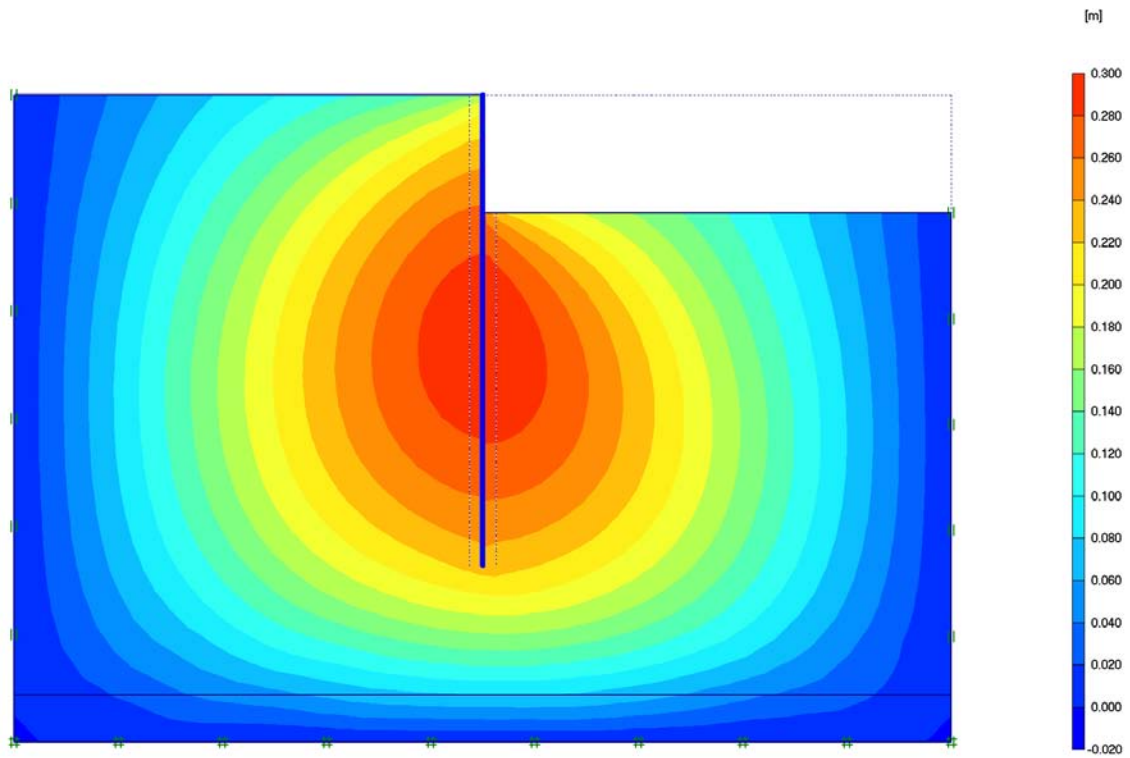


Figura 3-7 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila mole (carregamento não-drenado)

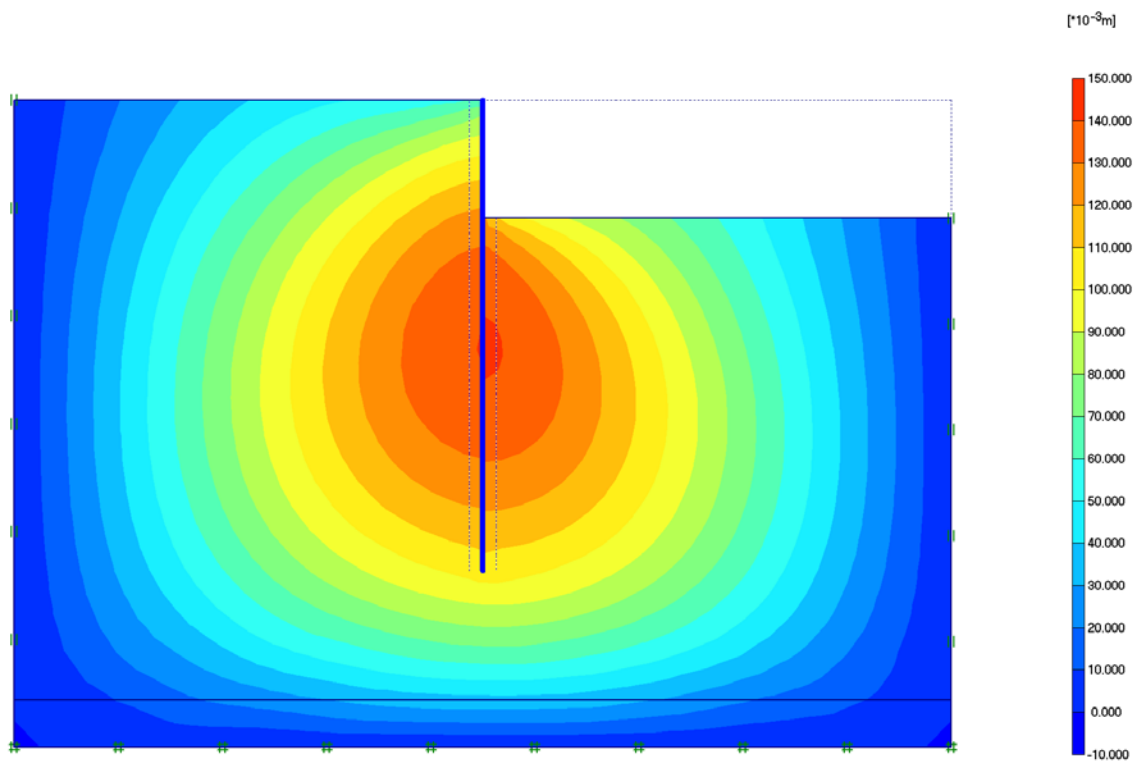


Figura 3-8 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila média (carregamento não-drenado)

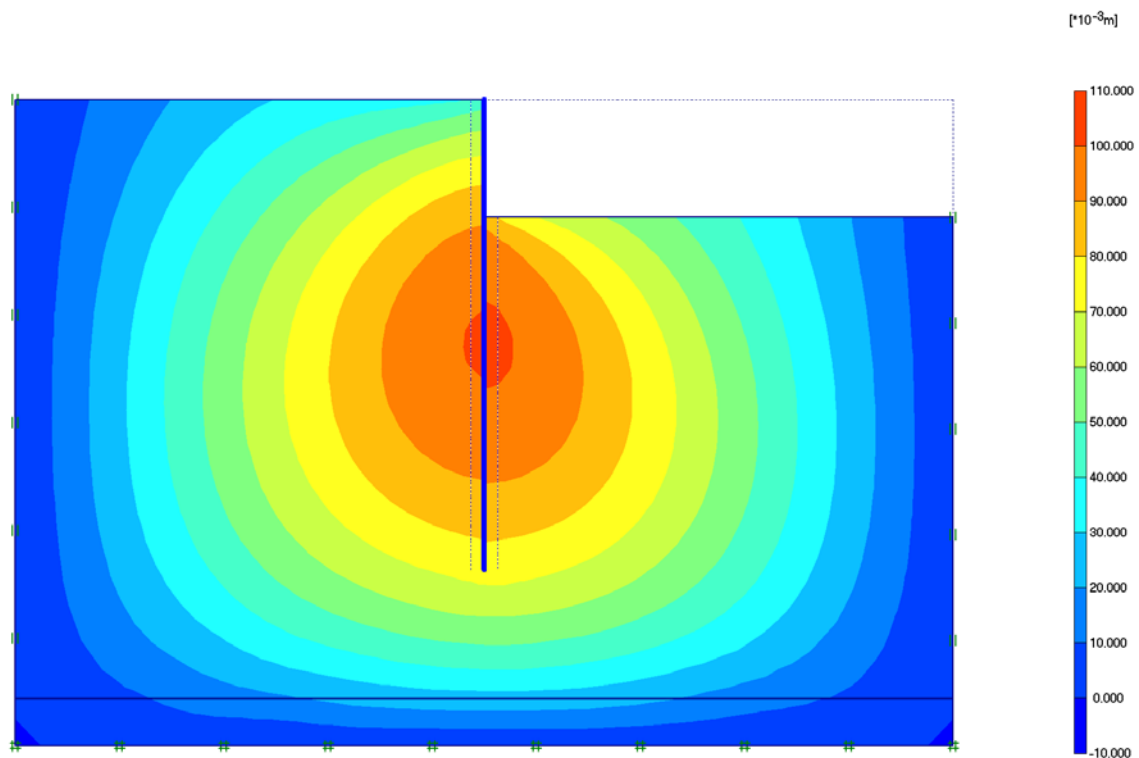


Figura 3-9 Deslocamentos horizontais no modelo de MEF de argila rijá (carregamento não-drenado)

Os valores dos coeficientes de reação para os dados acima apresentados foram calculado com uma planilha eletrônica, cujos resultados estão apresentados no anexo 2.

Os resultados dos coeficientes de reação obtidos para solos argilosos com carregamento não-drenado confirmam os resultados anteriormente apresentados por Terzaghi (Coeficiente de Reação uniforme ao longo da profundidade)

Para a determinação do Coeficiente de Reação será também solicitado a tensão horizontal atuante na cortina.

Com isso tem-se montado um banco de dados com tensões horizontais, parâmetros de resistência e deformabilidade do solo e Coeficientes de Reação para o desenvolvimento da Rede Neural, cuja planilha com valores normalizados e com média nula está apresentada no Anexo 3.

3.1.1.3 Estudo de Correlação das Variáveis

Durante o estudo de correlação das variáveis observou-se que a profundidade do local onde está sendo determinado o coeficiente de reação, a coesão do solo e a tensão horizontal apresentam baixos coeficientes de correlação com o coeficiente de reação.

Tabela 3-3 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis

	Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	σ'_h	K_h
Solo	1,00	0,02	-0,88	0,62	-0,98	-0,73	0,96	-0,46	-0,71
Prof	0,02	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,13
γ	-0,88	0,00	1,00	-0,29	0,92	0,88	-0,78	0,40	0,70
c	0,62	0,00	-0,29	1,00	-0,62	-0,41	0,60	-0,27	-0,48
ϕ	-0,98	0,00	0,92	-0,62	1,00	0,81	-0,93	0,46	0,74
E	-0,73	0,00	0,88	-0,41	0,81	1,00	-0,54	0,31	0,72
v	0,96	0,00	-0,78	0,60	-0,93	-0,54	1,00	-0,47	-0,61
σ'_h	-0,46	0,36	0,40	-0,27	0,46	0,31	-0,47	1,00	0,44
K_h	-0,71	0,13	0,70	-0,48	0,74	0,72	-0,61	0,44	1,00

Um outro estudo de correlação foi realizado, porém separando o banco de dados em dois bancos, sendo o primeiro contendo apenas os resultados das análises em solos arenosos (Tabela 3-4), e o segundo contendo apenas os resultados em solos argilosos (Tabela 3-5).

Tabela 3-4 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis para solos arenosos

	Prof	γ	ϕ	E	v	σ'_h	K_h
Prof	1,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,90	0,32
γ	-0,02	1,00	0,97	1,00	0,96	-0,11	0,42
ϕ	-0,02	0,97	1,00	0,99	0,93	-0,10	0,44
E	-0,02	1,00	0,99	1,00	0,96	-0,11	0,43
v	-0,02	0,96	0,93	0,96	1,00	-0,09	0,42
σ'_h	0,90	-0,11	-0,10	-0,11	-0,09	1,00	0,15
K_h	0,32	0,42	0,44	0,43	0,42	0,15	1,00

Observa-se que a tensão horizontal apresentou baixa correlação com o coeficiente de reação. Portanto, optou-se por remover este parâmetro do banco de dados.

Tabela 3-5 Resultado dos estudos de correlação entre as variáveis para solos argilosos

	Prof	γ	c	E	v	σ'_h	K_h
Prof	1,00	-0,04	-0,04	-0,04	0,00	-0,54	0,00
γ	-0,04	1,00	0,97	0,99	0,00	0,13	-0,35
c	-0,04	0,97	1,00	0,97	0,00	0,14	-0,34
E	-0,04	0,99	0,97	1,00	0,00	0,13	-0,38
v	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
σ'_h	-0,54	0,13	0,14	0,13	0,00	1,00	0,44
K_h	0,00	-0,35	-0,34	-0,38	0,00	0,44	1,00

Em solos argilosos, o estudo de correlação de variáveis indicou que não possuem correlação nenhuma com o coeficiente de reação a profundidade da amostra e o coeficiente de Poisson.

Observa-se, porém, que para a obtenção de resultados aplicáveis a casos práticos é necessário que estejam presentes parâmetros que sejam caracterizáveis em uma estratigrafia, portanto optou-se por manter a tensão horizontal como parâmetro de estudo.

A coesão do solo apresentou correlação baixa, cabendo uma avaliação mais detalhada sobre este parâmetro em relação aos resultados tanto em análises em MEF quanto na Rede Neural a ser desenvolvida.

3.1.2 Topologia da Rede

Inicialmente foi desenvolvida uma Rede Neural sequencial, considerando todos os dados coletados no banco de dados. Os resultados obtidos nesta rede neural não foram satisfatórios, pois o erro não convergiu (ver figura 3-10).

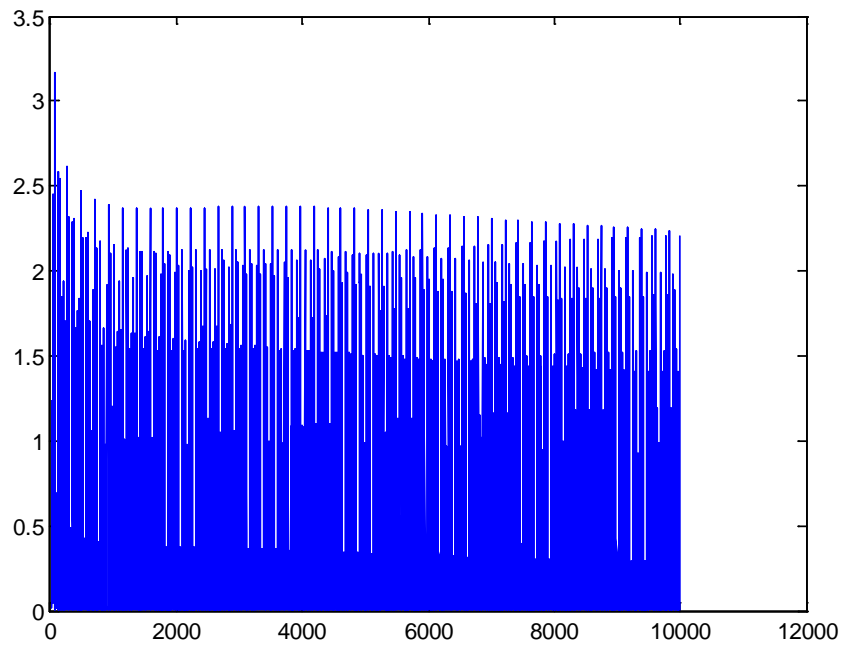


Figura 3-10 Acompanhamento do erro durante as iterações da Rede Neural Sequencial

Uma nova tentativa foi realizada com uma Rede Neural tipo Batelada. A Figura 3-12 mostra a curva de treinamento da rede na qual pode ser visto que o processo convergiu muito rapidamente ao atingir cerca de 100 épocas, porém observou-se uma nova convergência após 200 iterações, indicando *overtraining* na rede.

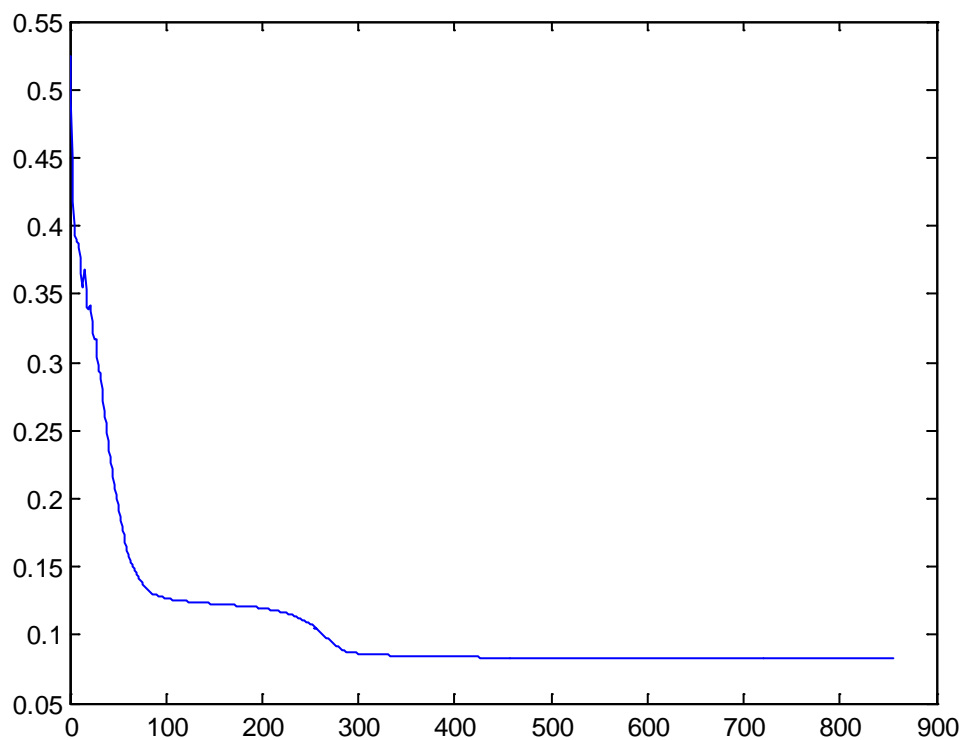


Figura 3-11 Acompanhamento do erro da Rede Neural que apresentou *overtraining*

Os parâmetros empregados na Rede Neural que apresentou *overtraining* foram:

- Número máximo de épocas = 82 (quantidade de vetores de entrada)
- Tolerância do erro = 1E-6
- Taxa de aprendizado = 0,002
- Fator de decaimento do aprendizado = 0,99
- Fator Momento = 0,9

O problema do *overtraining* foi solucionado com o aumento do valor do critério de parada de 1E-6 para 1E-4. Os resultados da Rede Neural com estes novos parâmetros estão apresentados nas figuras 3-12 e 3-13.

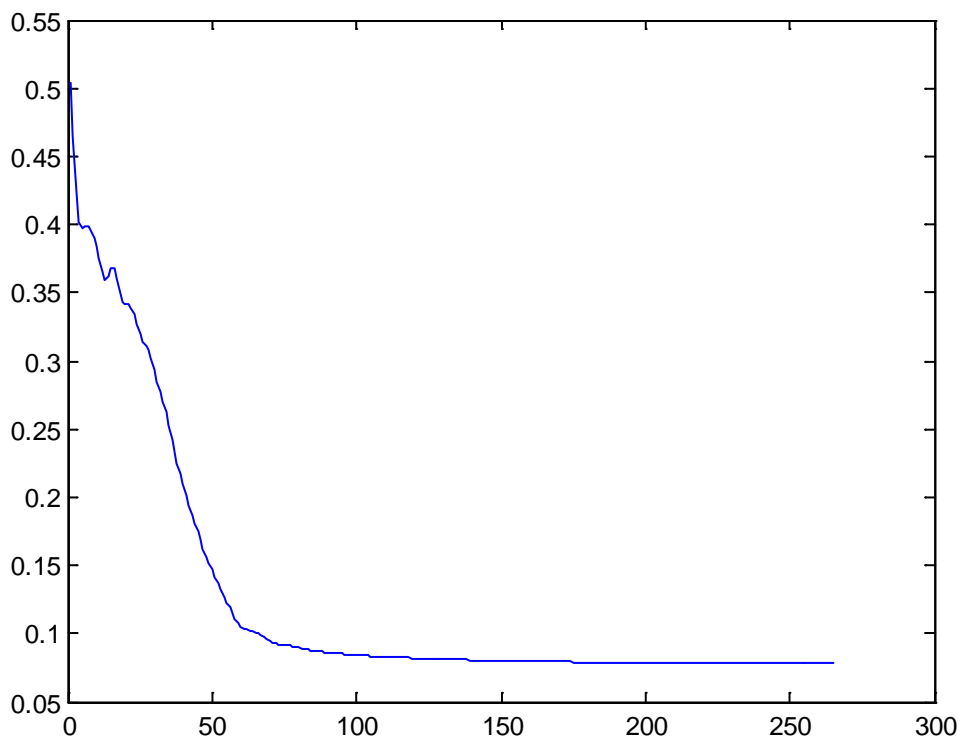


Figura 3-12 Acompanhamento do erro da Rede Neural para solos arenosos (final)

A rede neural dos solos argilosos não apresentou *overtraining* na modelagem inicial. Os parâmetros empregados foram:

- Número máximo de épocas = 114 (quantidade de vetores de entrada)
- Tolerância do erro = 1E-4
- Taxa de aprendizado = 0,002
- Fator de decaimento do aprendizado = 0,99

- Fator Momento = 0,9

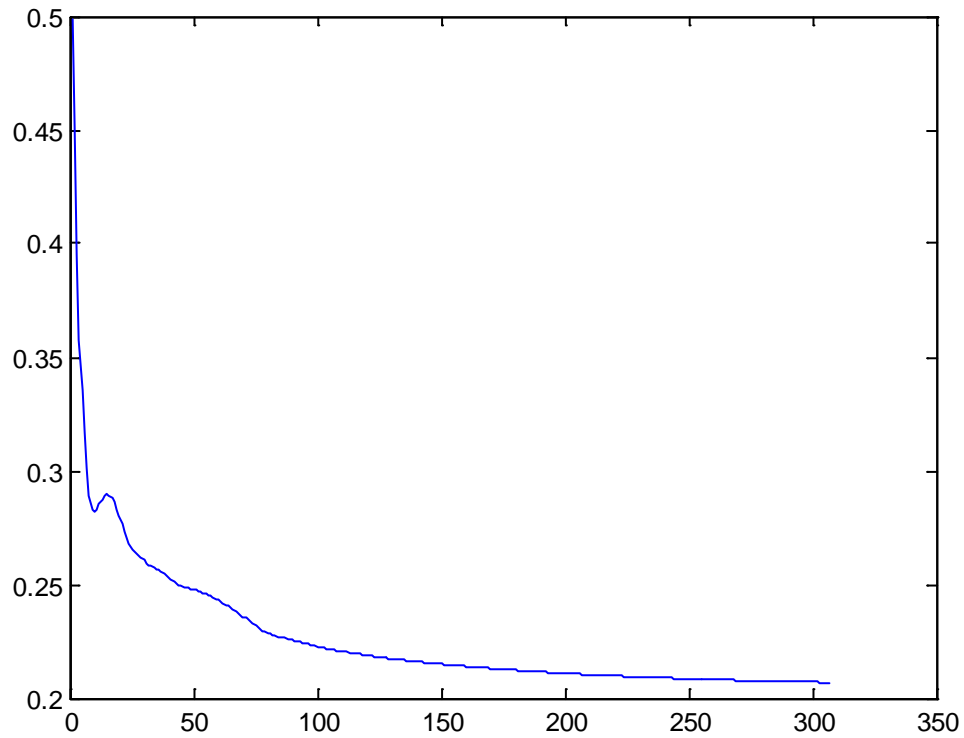


Figura 3-13 Acompanhamento do erro da Rede Neural para solos argilosos (final)

3.1.3 Resultados do Treinamento

Durante o treinamento da Rede Neural com o banco de dados unificados dos solos arenosos e argilosos, os resultados apresentaram uma grande dispersão (ver Figura 3-14)

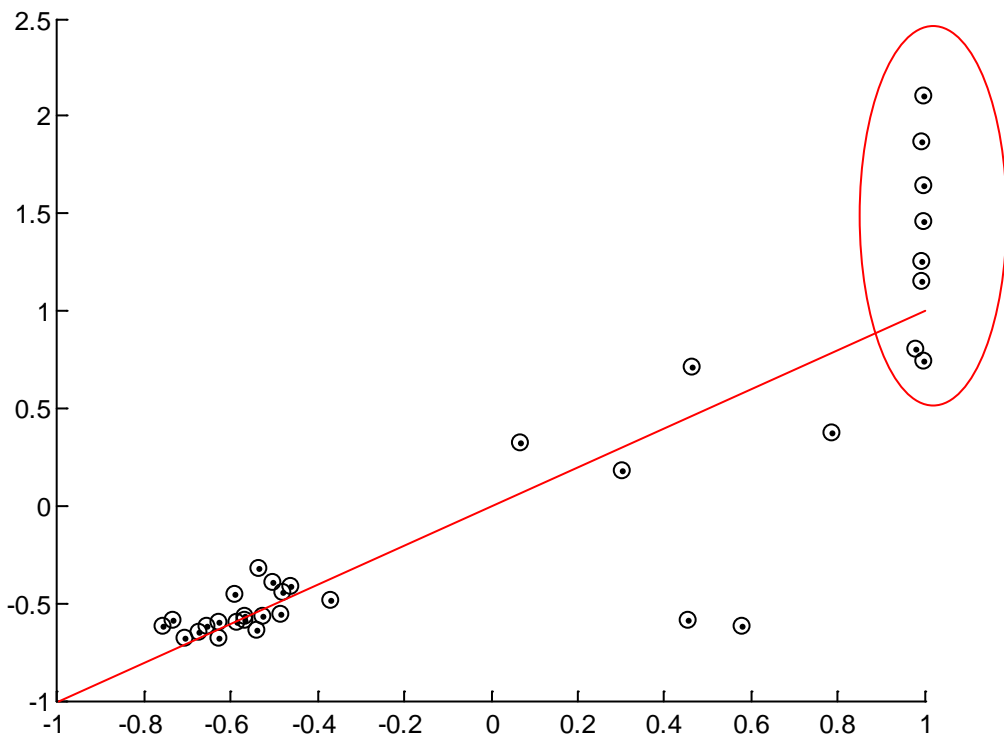


Figura 3-14 Resultados do teste da Rede Neural de solos arenosos e argilosos

Por este motivo optou-se por adotar a Rede Neural Final separando os solos arenosos dos materiais argilosos, que apresenta melhores resultados (Figuras 3-15 e 3-16)

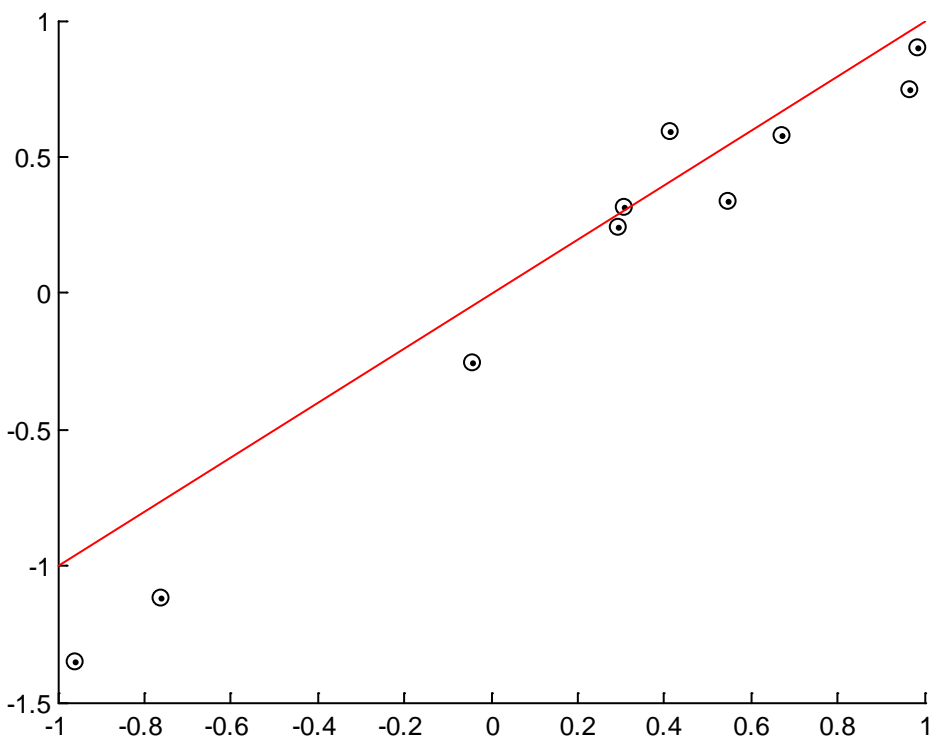


Figura 3-15 Resultados do teste da Rede Neural de solos arenosos

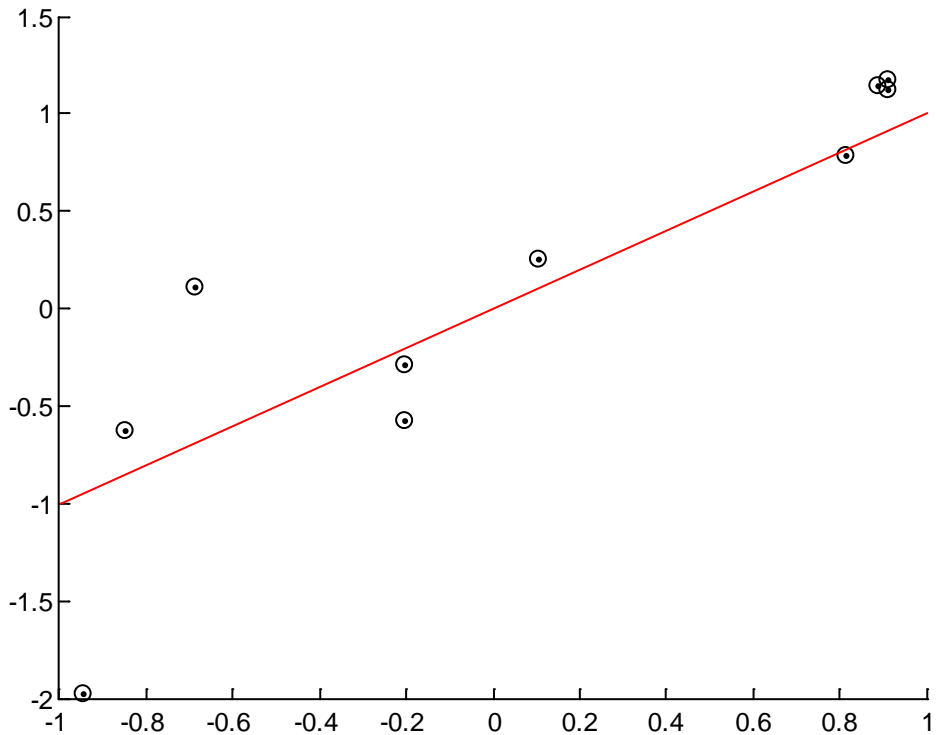


Figura 3-16 Resultados do teste da Rede Neural de solos argilosos

Para a utilização da Rede Neural as variáveis devem ser preparadas de acordo com os parâmetros empregados durante o treinamento. Portanto, para a aplicação na rede neural acima desenvolvida as variáveis deverão ser diminuídos da média da variável e divididos pelo desvio padrão.

$$v_{norm} = \frac{v - \bar{v}}{desv.pad.} \quad (3-1)$$

onde v é o parâmetro de entrada, \bar{v} é a média desta variável no banco de dados.

Tabela 3-6 Média e Desvio Padrão dos parâmetros geotécnicos no banco de dados empregado no desenvolvimento da Rede Neural de solos arenosos.

	Prof	γ	ϕ	E	v	K_h
Média	19,80	18,9891	33,9674	46,3043	0,2995	2809,6
Desv. Padrão	11,13	0,8187	2,9593	28,7741	0,0409	1383,9

Tabela 3-7 Média e Desvio Padrão dos parâmetros geotécnicos no banco de dados empregado no desenvolvimento da Rede Neural de solos argilosos.

	γ	c	E	σ'_h	K_h
Média	15,7500	42,5000	4,0000	71,4	940,7
Desv. Padrão	0,8325	35,0522	2,7497	39,1	213,6

Para a obtenção do coeficiente de reação em solos arenosos procede-se os seguintes cálculos:

$$[v_2] = \tanh([W_1] \cdot [v_{norm}] + [b_1]) \quad (3-2)$$

onde:

$$[w_1] = \begin{vmatrix} -0,51037 & -0,58703 & -1,5012 & -0,12427 & -0,53377 \\ 2,374413 & -0,38439 & 0,209385 & -0,23598 & 0,019081 \\ -0,55795 & -0,01366 & -1,41488 & -0,27015 & -0,05911 \\ -0,6696 & -0,51558 & -0,16013 & -0,77264 & -0,41548 \\ 0,678965 & 0,160384 & -0,14955 & 0,161406 & 0,327977 \end{vmatrix}$$

$$+[b_1] = \begin{vmatrix} -0,2494 \\ 2,421938 \\ 0,609078 \\ 0,141613 \\ 0,550241 \end{vmatrix}$$

$$[v_{norm}] = \begin{vmatrix} \gamma \\ \phi \\ E \\ v \\ \sigma'_h \end{vmatrix}$$

$$K_h = \tanh ([W_2] \cdot [v_2] + [b_2]) \quad (3-3)$$

onde:

$$[W_2] = \begin{vmatrix} -1,09615 & 2,647467 & -1,10306 & 0,115102 & -1,06622 & -1,09615 & 2,647467 \end{vmatrix}$$

$$[b_2] = \begin{vmatrix} -0,68777 \end{vmatrix}$$

Para a obtenção do coeficiente de reação em solos argilosos procede-se os seguintes cálculos:

$$[v_2] = \tanh([W_1] \cdot [v_{norm}] + [b_1]) \quad (3-4)$$

onde:

$$\begin{vmatrix} 0,032777 & 0,544635 & 0,561005 & -0,24561 \end{vmatrix}$$

$$[w_1] = \begin{vmatrix} -0,25697 & -0,19175 & 0,661068 & 2,001255 \\ 1,021398 & 0,652817 & 0,286651 & -0,4588 \\ 0,132658 & -0,26986 & -0,263 & -0,06434 \end{vmatrix}$$

$$[b_1] = \begin{vmatrix} 1,189506 \\ 2,579358 \\ -0,31972 \\ -0,04993 \end{vmatrix}$$

$$[v_{norm}] = \begin{vmatrix} \gamma \\ c \\ E \\ \sigma'_h \end{vmatrix}$$

$$K_h = \tanh ([W_2] \cdot [v_2] + [b_2]) \quad (3-5)$$

onde:

$$[W_2] = \begin{vmatrix} -1,67523 & 1,729517 & 0,126413 & 0,167245 & -1,67523 \end{vmatrix}$$

$$[b_2] = \begin{vmatrix} -0,28972 \end{vmatrix}$$

Aplicando estas fórmulas em uma planilha de cálculo podem ser obtidos os resultados do coeficiente de reação horizontal (K_h) para os diversos tipos de solos em diversas profundidades.

3.2 VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL - ESTUDO DE CASO: METRÔ RIO, LOTE 9

Será empregado como conjunto de teste o projeto da contenção do lote 9 do Metrô, estudado na tese de doutoramento de Soares (1981). A utilização dos dados da tese justifica-se pela boa qualidade da investigação geotécnica permitindo uma boa caracterização do coeficiente de reação para o modelo de molas e uma comparação com a modelagem em MEF.

3.2.1 Análise do Metrô Via MEF

3.2.1.1 Dados de Entrada (Instrumentação)

A instrumentação do Lote 9 do Metrô utilizou como referência o comportamento da vala no Lote 3 da mesma obra, cuja característica marcante foi o comportamento simétrico em termos de tensões e deformações. Tendo em vista tal fato, no Lote 9 buscou-se instrumentar apenas um dos lados da escavação, reduzindo assim as dificuldades inerentes à interpretação da grande quantidade de dados e possibilitando realizar uma investigação mais detalhada no trecho escolhido.

No Lote 9 os instrumentos utilizados foram:

- Células de Pressão Total
- Extensômetros para Vergalhão
- Extensômetros para Concreto
- Extensômetros para Estroncas
- Piezômetro tipo aberto (Casagrande)
- Piezômetro Pneumáticos
- Inclinômetros
- Medidor Magnético de Recalques (Aranha Magnética)
- Tassômetros

A lamela estudada apresenta profundidade de 30,0 metros, comprimento de 7,5 metros e espessura de 1,20 metros. A armadura consiste em duas gaiolas de 20,00 x 3,25 x 1,20 metros com um peso total de 17,5 tf, com a taxa de 135 kgf/m³ (CA50A).

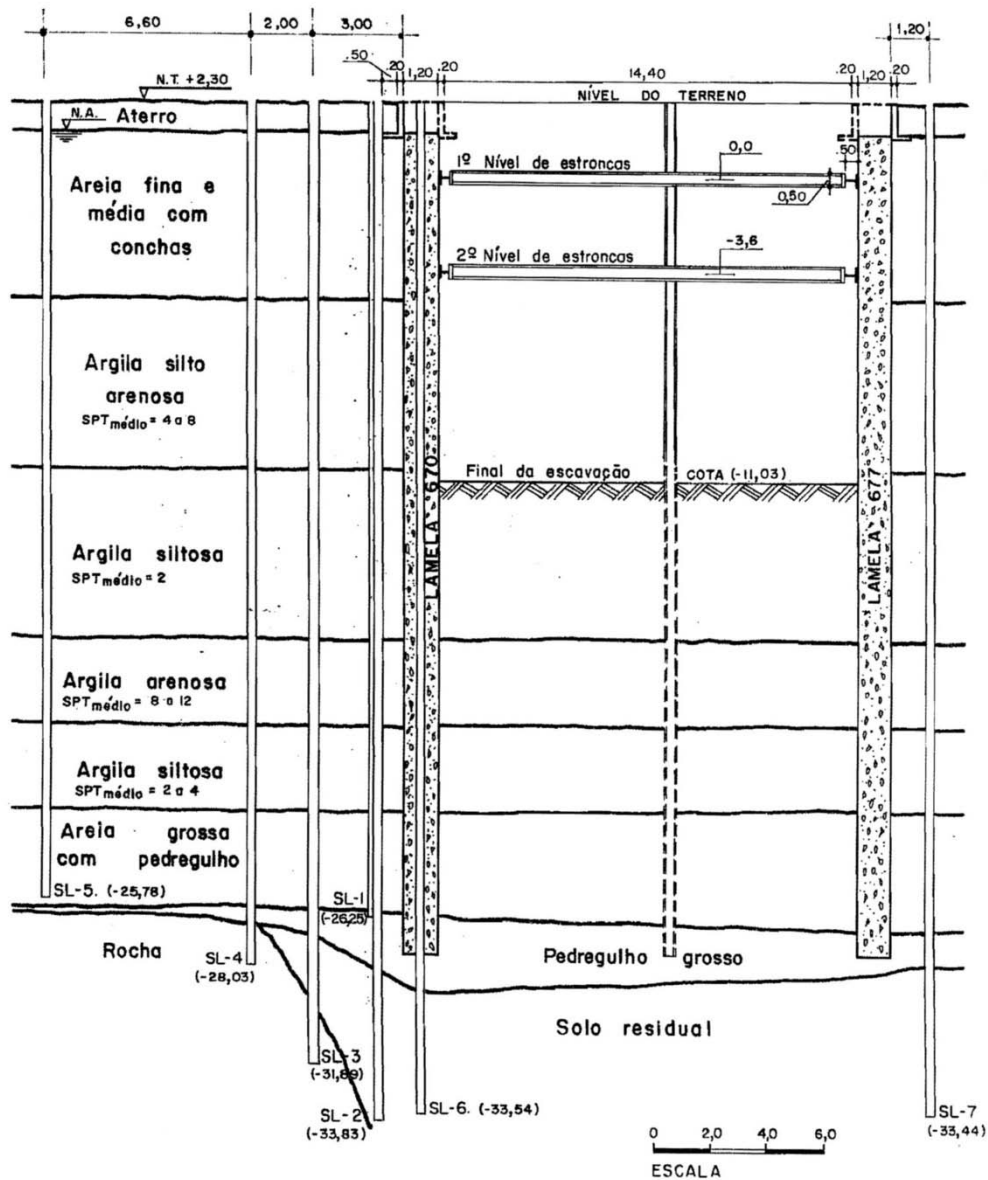


Figura 3-17. Locação dos Poços para Inclínômetro (Soares, 1981)

As células de pressão total foram instaladas na parte inferior da parede (ficha) para um melhor conhecimento da distribuição de empuxos ao longo de solos argilosos. Os extensômetros para vergalhão foram distribuídos na metade superior da parede devido os esforços neste trecho serem mais elevados.

Extensômetros foram utilizados para medir as deformações no concreto (inseridos com espaçamentos de 1,75 metros) e para medir as deformações dos vergalhões.

Os deslocamentos horizontal e vertical do solo próximo à lamela instrumentada foram acompanhados por 7 inclinômetros e 17 tassômetros, sendo que um desses inclinômetros foi instalado no centro da parede diafragma.

As medidas das poropressões nas camadas argilosas foram obtidas por 11 piezômetros pneumáticos e 1 piezômetro de Casagrande, e o N.A. das camadas arenosas foram obtidos por Medidores de NA.

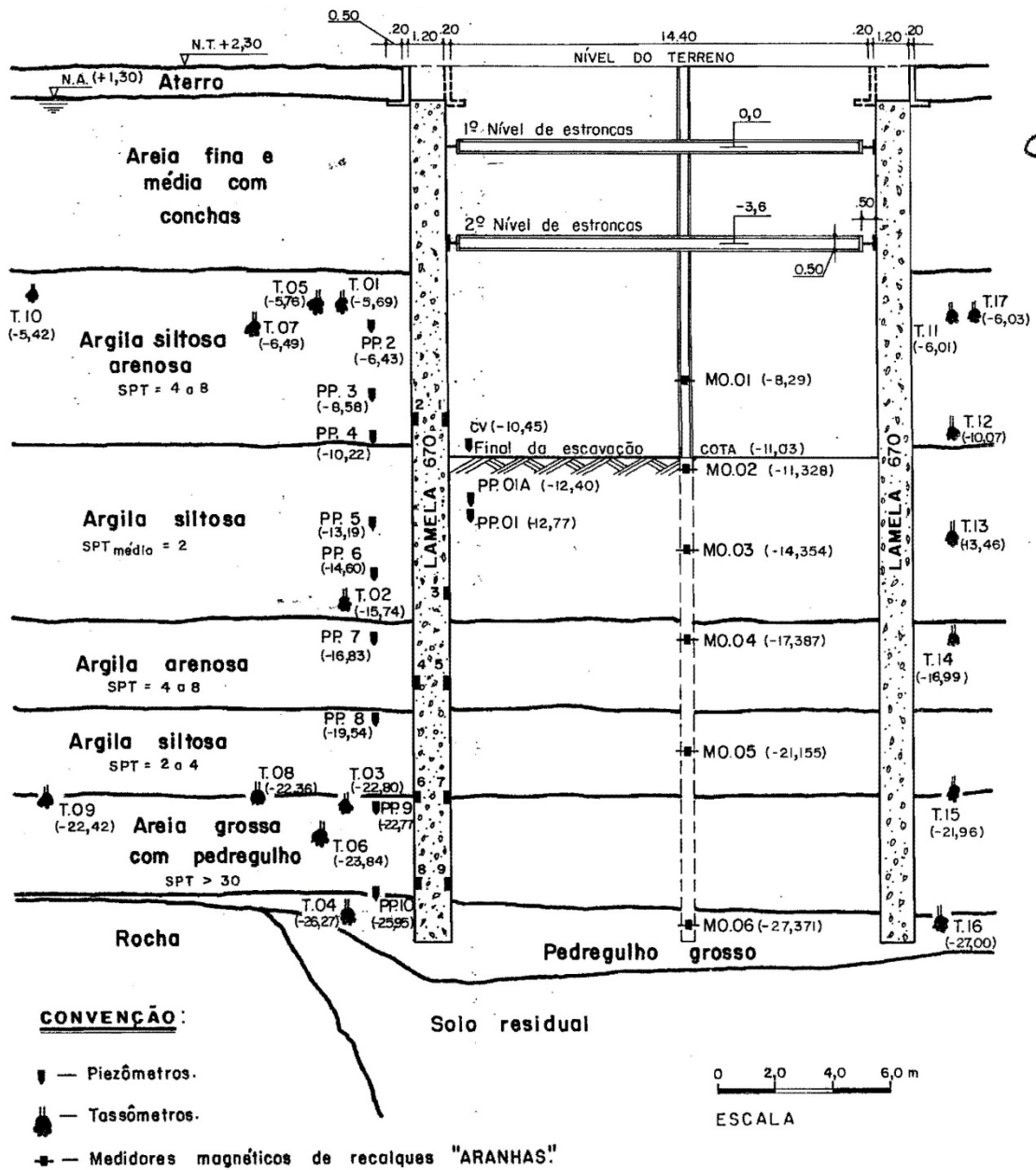
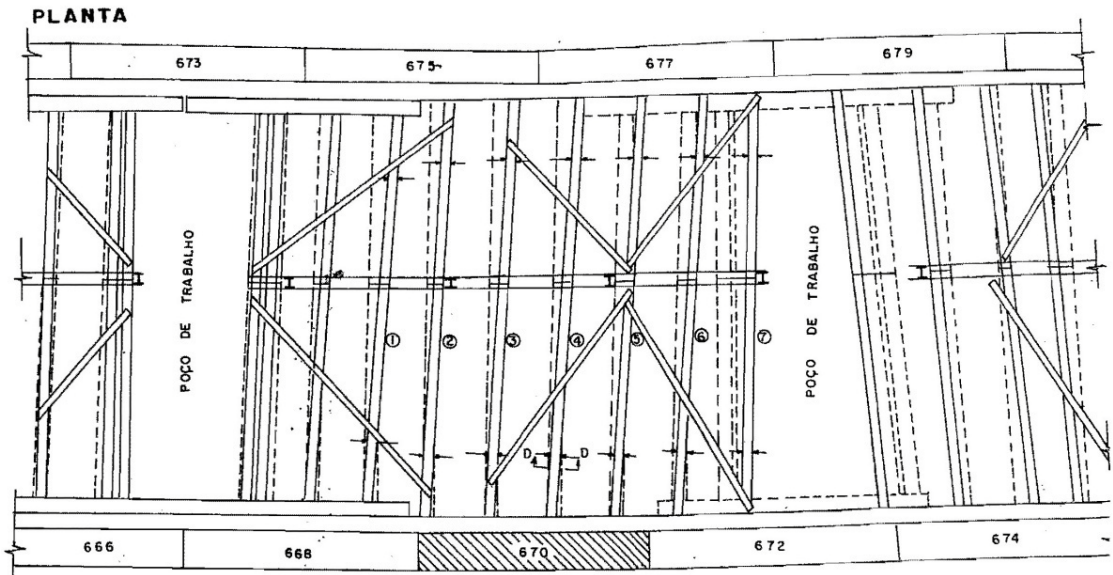


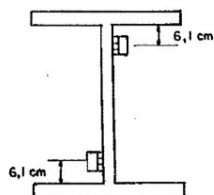
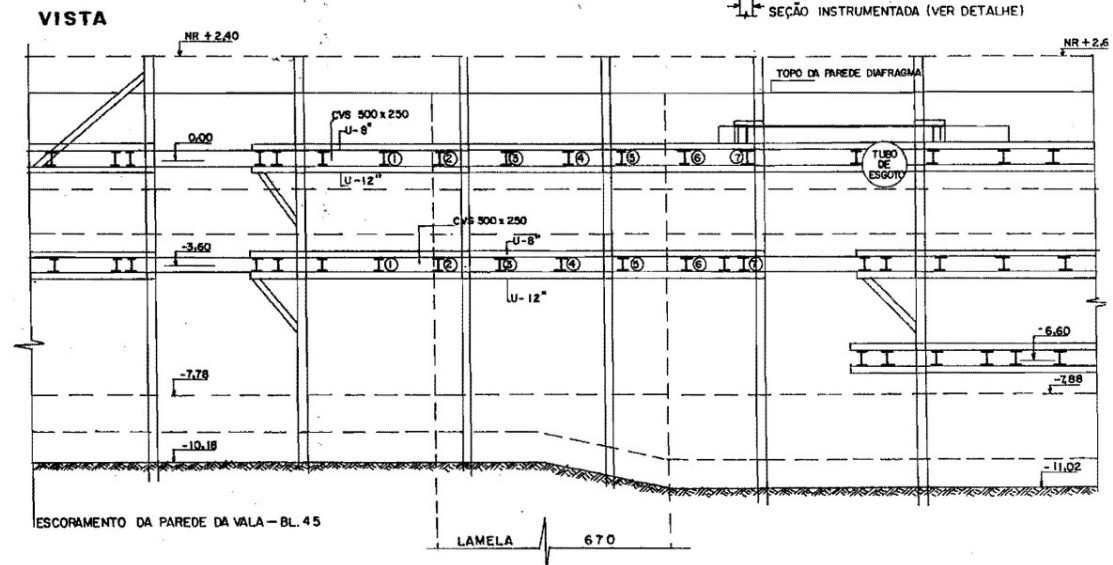
Figura 3-18. Localização dos piezômetros e medidores de deslocamentos verticais

Para a instrumentação do escoramento foram selecionadas sete estroncas de cada nível (próximas à lamela instrumentada), totalizando 14 locais onde foram instalados 4 extensômetros para a determinação do esforço normal e do momento fletor em duas seções da estronca.



AS LINHAS TRACEJADAS MOSTRAM A POSIÇÃO DAS ESTRONCAS DO 2º NÍVEL

- ① ESTRONCA INSTRUMENTADA Nº 1
- ⊥ SEÇÃO INSTRUMENTADA (VER DETALHE)



CORTE DD
DETALHE DA FIXAÇÃO DOS
EXTENSÔMETROS PARA
ESTRONCAS MDS 16

Figura 3-19 Estroncas instrumentadas (Soares, 1981)

3.2.1.2 Geometria do problema

Os parâmetros do solo empregados no MEF foram obtidos dos ensaios apresentados na tese de Soares (1981). Abaixo encontra-se um perfil geotécnico com o resumo destes parâmetros, empregados na modelagem que segue.

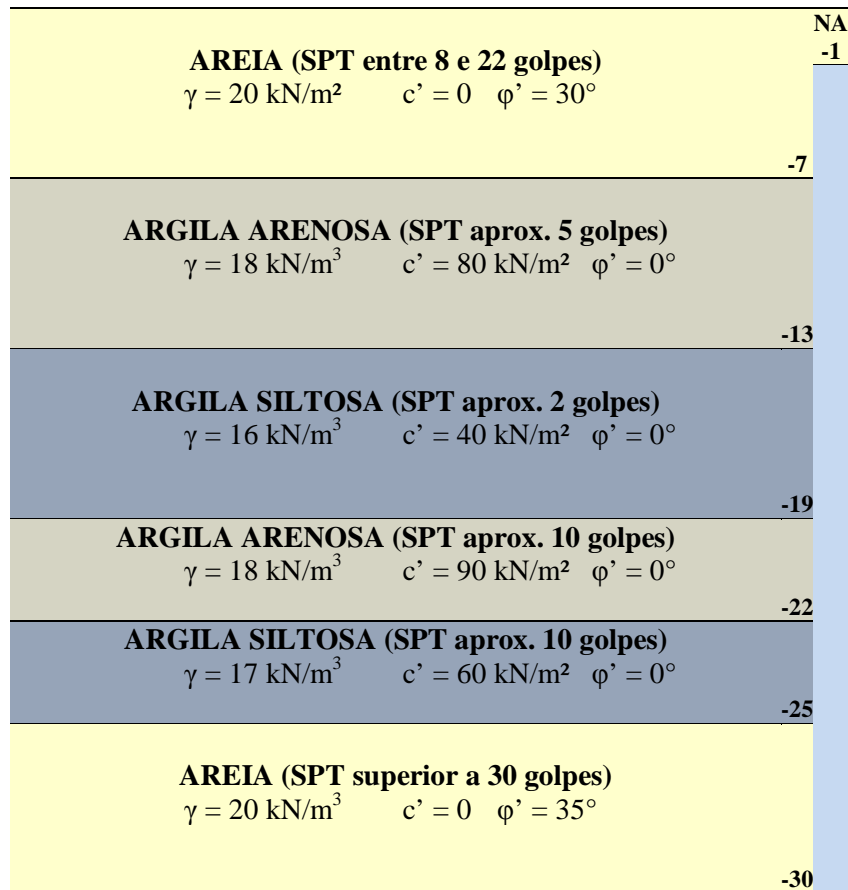


Figura 3-20 Perfil Geotécnico (Soares, 1981)

A geometria da estrutura consistem em paredes diafragma com espessura de 1,20 metros e 30 metros de profundidade, feita em concreto armado.

Tabela 3-8 Propriedades de área do diafragma

Tipo	A_{eq} (m ² /m)	I_{eq} (m ⁴ /m)	$E_c \cdot A$ (kN/m)	$E_c \cdot I_{eq}$ (kN/m ² /m)	w_{eq} (kN/m/m)
D1	1,2	0,144	25.200.000,00	3.024.000,00	25,2

Esta parede recebe o estroncamento com perfis metálicos instalados a cada 5 metros.

Tabela 3-9 Propriedades das estroncas

Tipo	A_s (m ² /m)	$E_s \cdot A_s$ (kN/m)	e (m)
E1	0,00836	6,688E05	5

3.2.1.3 Etapas da Modelagem

Em modelagens geotécnicas a duração de cada etapa da obra, os carregamentos e descarregamentos efetuados e o tempo de execução das estruturas são determinantes

para a qualidade dos resultados. Em virtude disto, para a melhor representação possível dos resultados obtidos por Soares, 1981 será apresentado um breve histórico da evolução da obra.

Na tese de doutorado de Soares foram apresentadas nove etapas, porém no modelo em elementos finitos (MEF) são necessárias apenas 5 etapas para uma boa representação da execução da escavação escorada. A seguir são apresentadas as condições de contorno a serem empregadas no MEF em cada etapa da obra.

As etapas apresentadas por Soares são:

1. Instalação dos instrumentos na gaiola no dia 13/02/78
2. Transporte e posicionamento da gaiola na lamela escavada (dia 13 a 15 de fevereiro de 78)
3. Concretagem da lamela instrumentada (dia 15 a 16 de fevereiro de 78)
4. Medição dos esforços pós-concretagem (de 16 de fevereiro a 10 de março de 78)
5. Instalação dos instrumentos no solo (entre abril e agosto de 78)
6. Alívio de pressões do lençol freático (meados de maio de 78)
7. Escavação da vala para a colocação das estroncas no primeiro nível (de 01/12/78 a 10/01/79)
8. Escavação da vala para colocação das estroncas no segundo nível (de 10/01/79 a 15/02/79)
9. Término das escavações nas imediações do trecho instrumentado (entre dia 15 e 23 de fevereiro de 79)

Na modelagem em Elementos Finitos, porém, a sequência executiva deve ser colocada em termos de dias corridos e de eventos isolados. Além disto, etapas como a colocação de instrumentação não apresentam sentido na modelagem. Portanto será adotada a seguinte sequência:

Geração de tensões geostáticas: Etapa típica em MEF onde as tensões no terreno são criadas e os deslocamentos são igualados a zero.

Etapa 1 (construção da parede diafragma): ocorrida em fevereiro de 78, início teórico da modelagem. Duração: 2 dias

Etapa 2 (adensamento da região no entorno da parede diafragma): devido a inexistência de instrumentação no solo, os deslocamentos por aumento de tensões sofrido pelo solo será desconsiderado. Duração: 85 dias

Etapa 3 (alívio do lençol freático): etapa ocorrida em meados de maio de 78, decorrente do rebaixamento do lençol freático. A figura a seguir ilustra a geometria da seção neste período. Duração 15 dias.

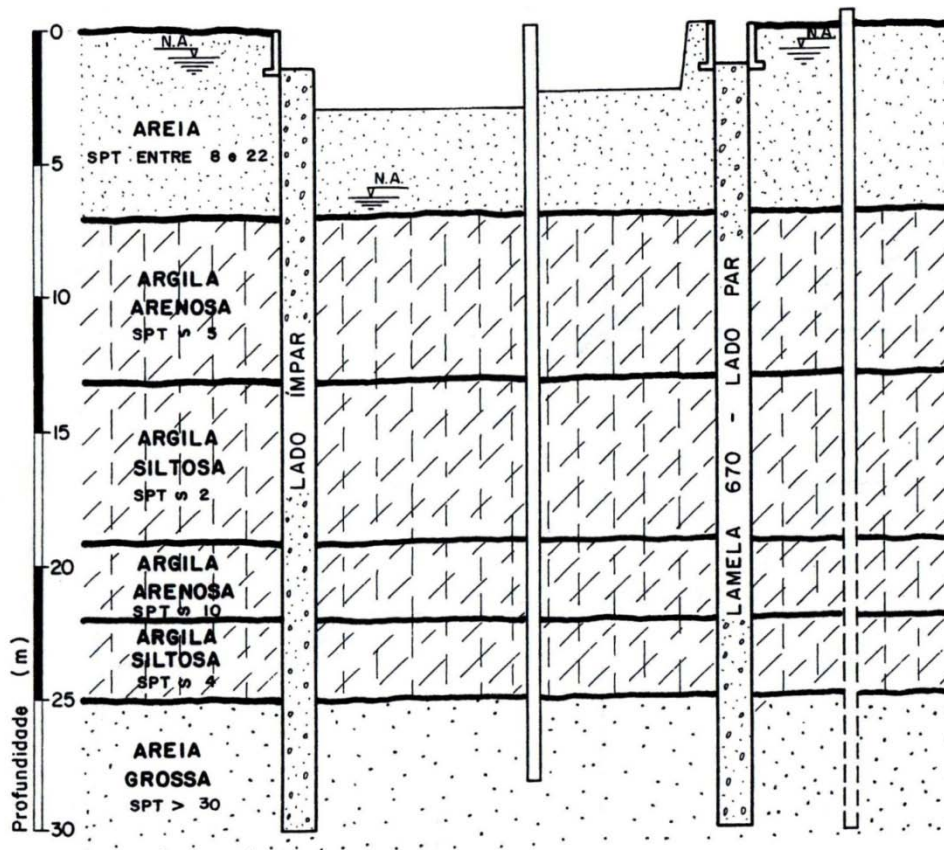


Figura 3-21 Seção instrumentada antes do início da escavação – dia 8/12/78 (Soares, 1981)

Etapa 4 (escavação): escavação das valas para a colocação das estrocas de primeiro nível, processo de escavação em etapas até a cota -7m. A figura a seguir ilustra a geometria obtida nesta etapa. Duração: 15 dias.

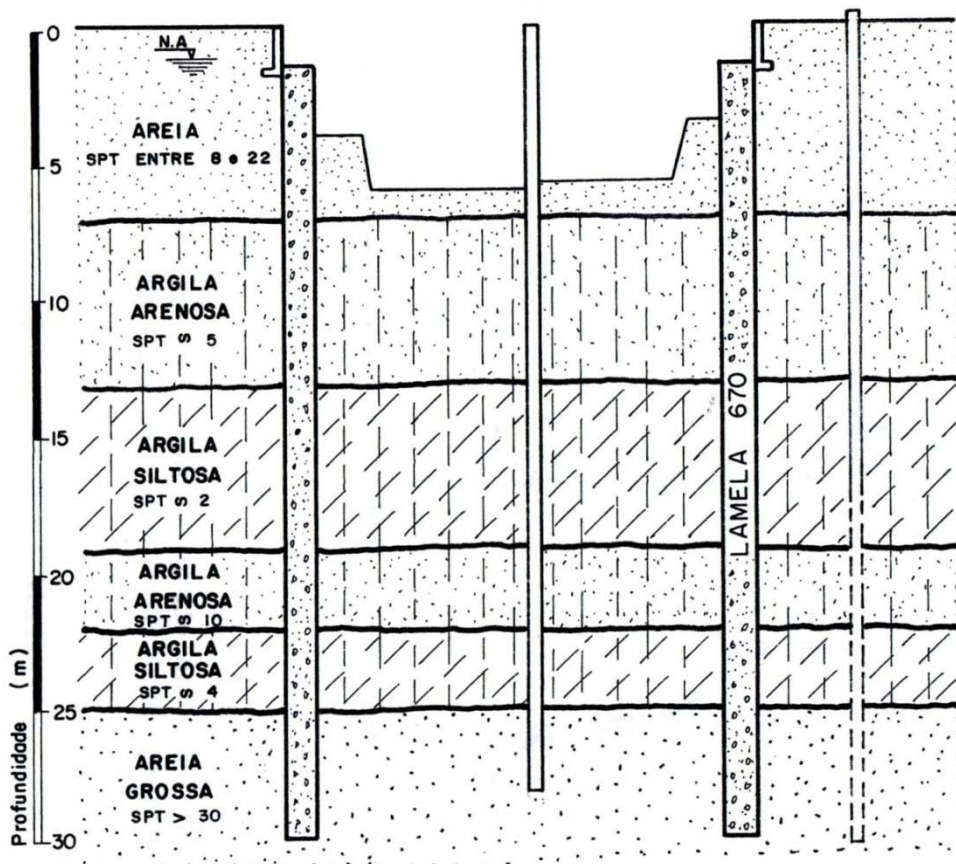


Figura 3-22 Seção instrumentada antes da colocação das estrocas (Soares, 1981)

Etapa 5 (instalação do primeiro nível de estrocas): Duração: 1 dia

Etapa 6 (período de repouso): não foram realizadas intervenções na seção estudada neste período, portanto deve ser inserido tempo para que ocorram as deformações no solo em virtude das alterações nas etapas anteriores. Duração: 240 dias.

Etapa 7 (escavação): escavação das valas para a colocação das estrocas de segundo nível, processo de escavação em etapas até a cota -10 m. A figura 3-6 ilustra a geometria obtida nesta etapa. Duração: 5 dias.

Etapa 8 (instalação do segundo nível de estrocas): Duração: 1 dia

Etapa 9 (período de repouso): não foram realizadas intervenções na seção estudada neste período. Duração: 30 dias.

Etapa 10 (término das escavações): a vala foi escavada até a cota de projeto (-13 m). A figura 3-7 ilustra a geometria obtida ao fim desta etapa. Duração: 8 dias.

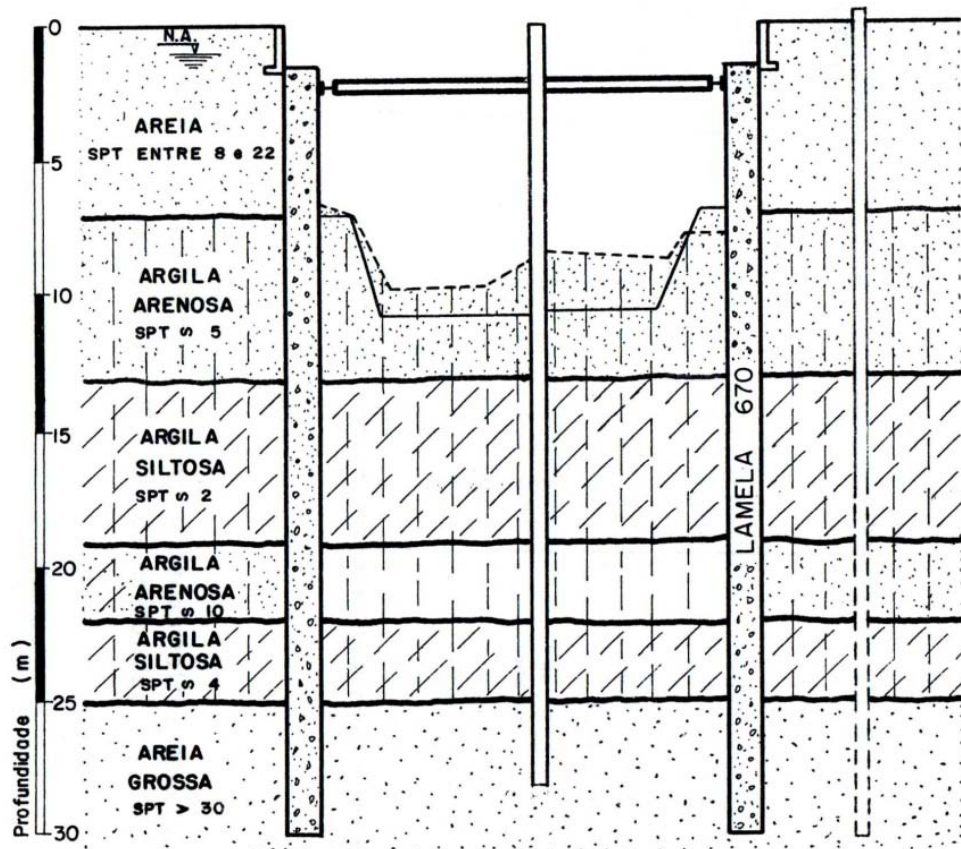


Figura 3-23 Seção instrumentada com um nível de escoramento (Soares, 1981)

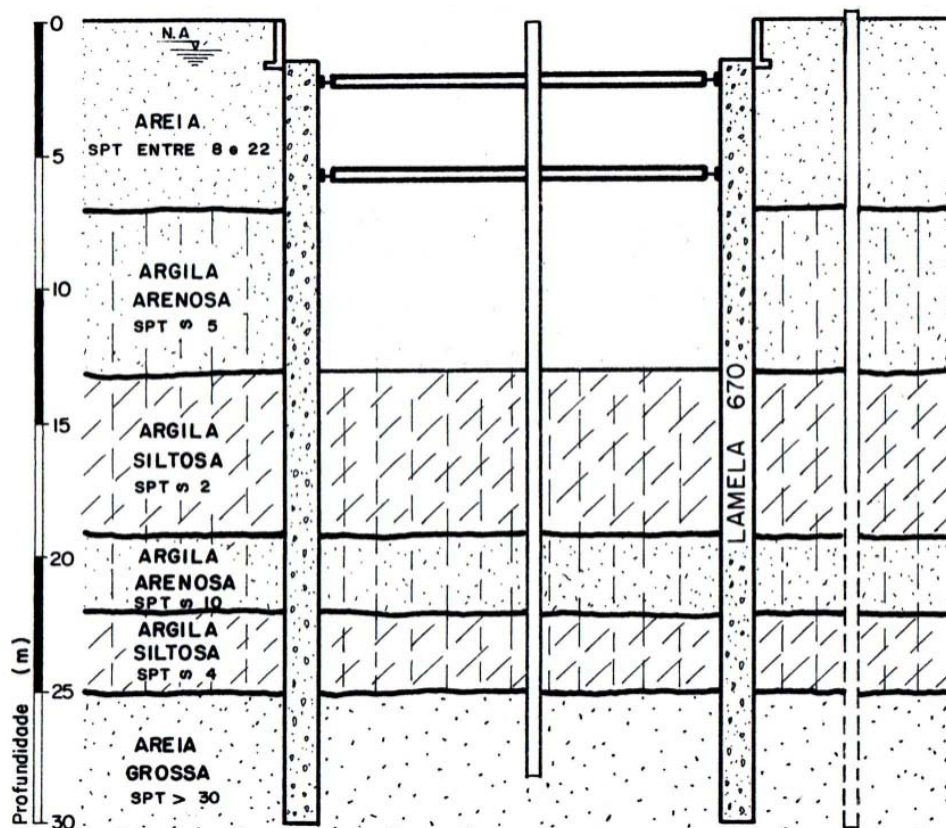


Figura 3-24 Seção instrumentada final, com dois níveis de escoramento (Soares, 1981)

Em resumo, a modelagem em MEF apresenta todos os passos executados na obra, discretizando o tempo de realização. A tabela 3-3 apresenta estes passos.

Tabela 3-10 Eventos a serem empregados na modelagem em MEF

<i>Passo</i>	<i>Evento</i>	<i>Duração</i>
0	Geração das tensões iniciais	-
1	Construção da parede diafragma	2 dias
2	Adensamento (medidas de deslocamento zerados)	85 dias
3	Rebaixamento do lençol freático até a cota -5,0 m	15 dias
4	Escavação até a cota -7,0 m	15 dias
5	Execução do primeiro nível de estroncas	1 dia
6	Repouso	240 dia
7	Escavação até a cota -10,0 m	5 dias
8	Execução do segundo nível de estroncas	1 dia
9	Repouso	30 dias
10	Escavação até a cota -11,0 m	8 dias

3.2.1.4 Modelagens Via MEF

O Plaxis possibilita o uso de dois tipos de elementos básicos, o elemento isoparamétrico de 6 nós e o de 15 nós. Nas modelagens em MEF foram adotados o elemento isoparamétrico de 15 nós que, embora consuma muita memória durante os cálculos, apresenta resultados mais acurados para problemas elaborados.

Para a modelagem da cortina e dos tirantes o Plaxis faz uso de elementos de barra, típicos em programas comerciais de análise estrutural.

A figura 3-9 ilustra a malha de Elementos Finitos empregada nas análises do Metrô Rio.

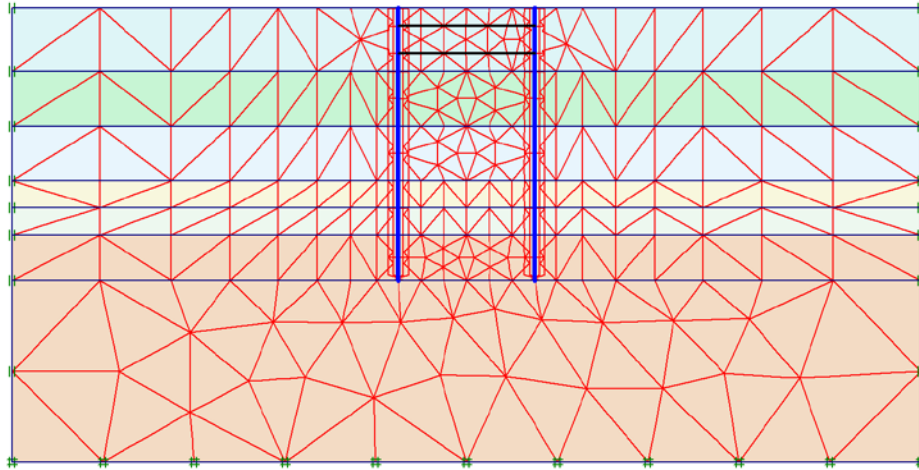


Figura 3-25 Disposição dos elementos Isoparamétricos no Plaxis 8.2

Para a comparação com os resultados da instrumentação serão considerado apenas os dados da fase final da obra (fase nove).

Para a compatibilização dos deslocamentos obtidos na instrumentação foram necessárias algumas alterações nos parâmetros adotados no perfil geotécnico. O novo perfil geotécnico passa a ser:

<p>AREIA (SPT entre 8 e 22 golpes) $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $c' = 0$ $\phi' = 35^\circ$ $E = 25 \text{ MPa}$ $v = 0,30$</p>	<p>NA -1</p>
<p>ARGILA ARENOSA (SPT aprox. 5 golpes) $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $c' = 80 \text{ kN/m}^2$ $\phi' = 25^\circ$ $E = 35 \text{ MPa}$ $v = 0,35$</p>	<p>-7</p>
<p>ARGILA SILTOSA (SPT aprox. 2 golpes) $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $S_u = 40 \text{ kPa}$ $E = 20 \text{ MPa}$ $v = 0,49$</p>	<p>-13</p>
<p>ARGILA ARENOSA (SPT aprox. 10 golpes) $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $c' = 90 \text{ kN/m}^2$ $\phi' = 25^\circ$ $E = 50 \text{ MPa}$ $v = 0,35$</p>	<p>-19</p>
<p>ARGILA SILTOSA (SPT aprox. 10 golpes) $\gamma = 18 \text{ kN/m}^2$ $S_u = 90 \text{ kPa}$ $E = 45 \text{ MPa}$ $v = 0,49$</p>	<p>-22</p>
<p>AREIA (SPT superior a 30 golpes) $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $c' = 0$ $\phi' = 35^\circ$ $E = 85 \text{ MPa}$ $v = 0,40$</p>	<p>-25</p>
	<p>-30</p>

Figura 3-26 Perfil Geotécnico modificado para o atendimento das condições da instrumentação

Com estes parâmetros foram obtidos os seguintes resultados:

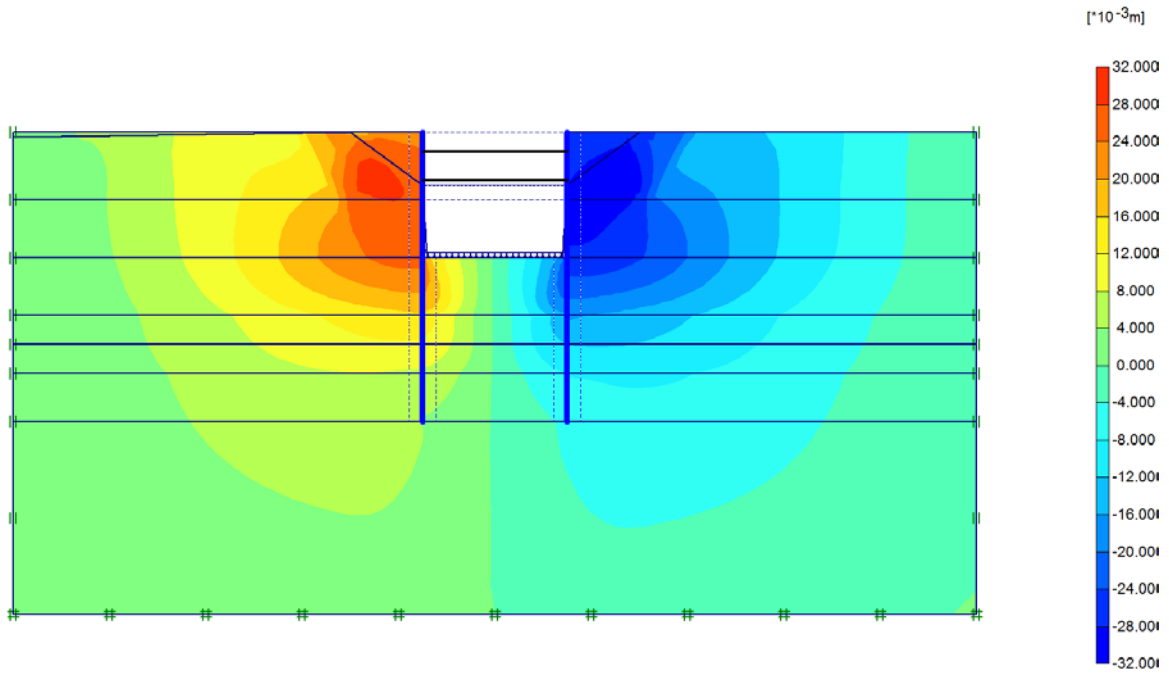


Figura 3-27 Deformações horizontais obtidas no Plaxis

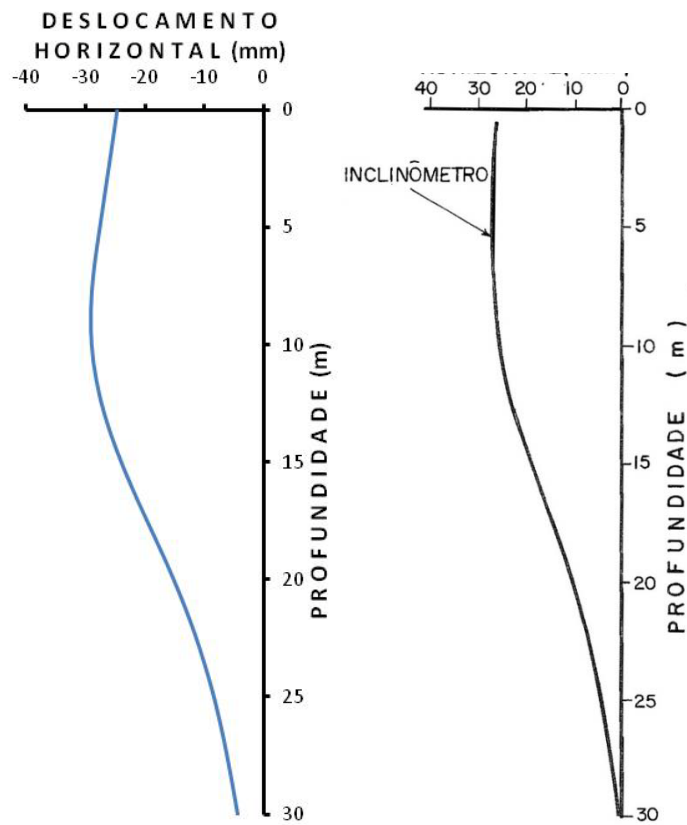


Figura 3-28 Deslocamentos horizontais obtidas por análise não-drenada com o programa Plaxis (esquerdo) e medidos na obra do Metrô-Rio (direito)

3.2.2 Análise do Metrô-Rio via Coeficiente de Reação (Redes Neurais)

Na modelagem via coeficientes de reação os esforços horizontais a serem empregados na Rede Neural são obtidos pela teoria de Rankine.

Observa-se que no dimensionamento da estrutura devem ser consideradas as etapas construtivas, portanto, o modelo de coeficiente de reações é executado em etapas considerando o carregamento na estrutura para cada fase de execução. No caso da parede diafragma do Metrô-Rio, são necessárias três etapas:

1. Escavação do solo para a colocação do primeiro tirante
2. Escavação do solo para a colocação do segundo tirante
3. Escavação final (com os dois tirantes instalados)

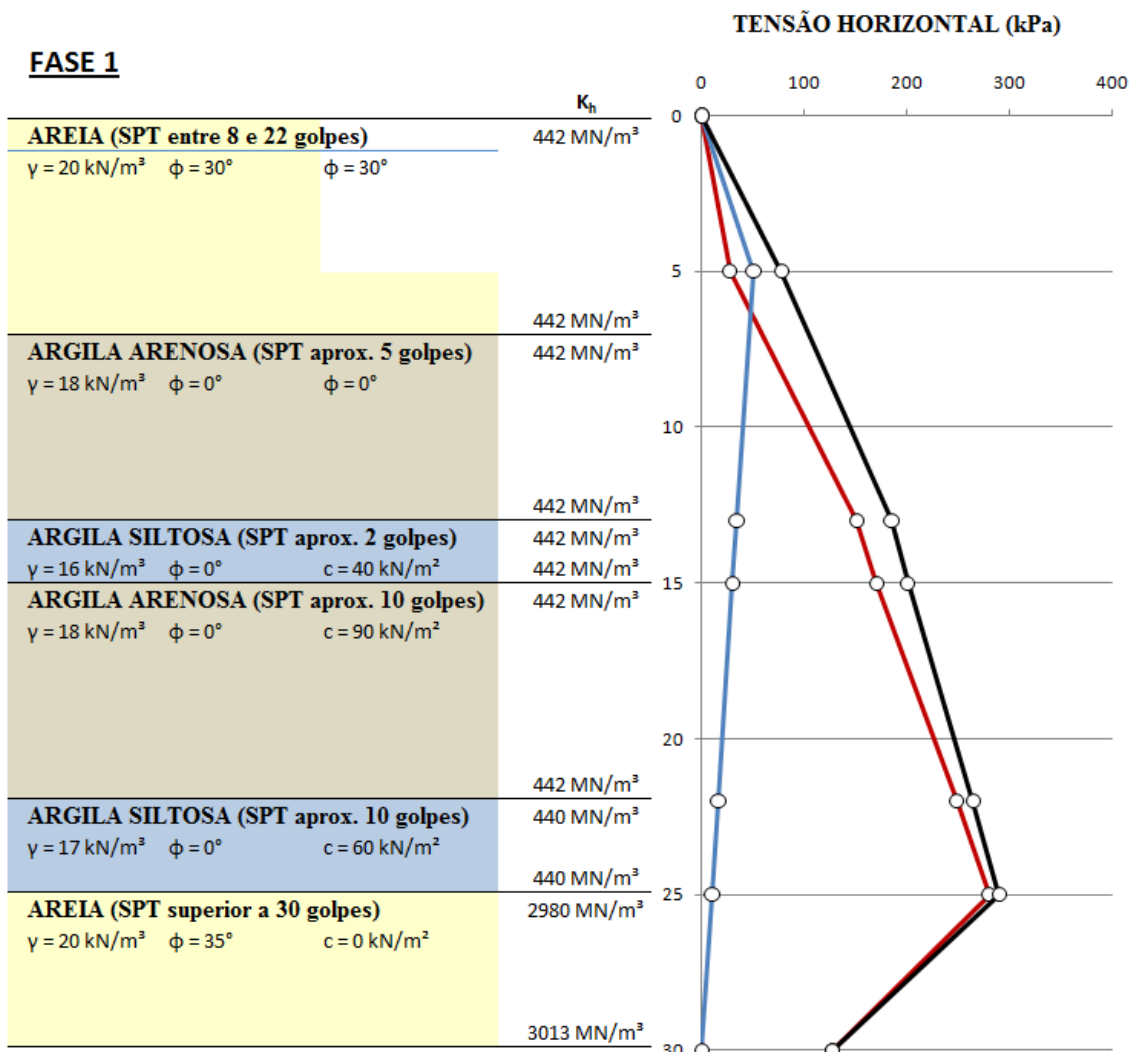


Figura 3-29 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 1

A primeira etapa aplicada no Método Evolutivo consiste na escavação até a cota -5 m para a posterior implantação do primeiro nível de estroncas. Nesta etapa o lençol freático foi rebaixado até a cota - 5 m, acompanhando a escavação, e conseqüentemente gerando as tensões hidrostáticas apresentadas em azul, na figura 3-29.

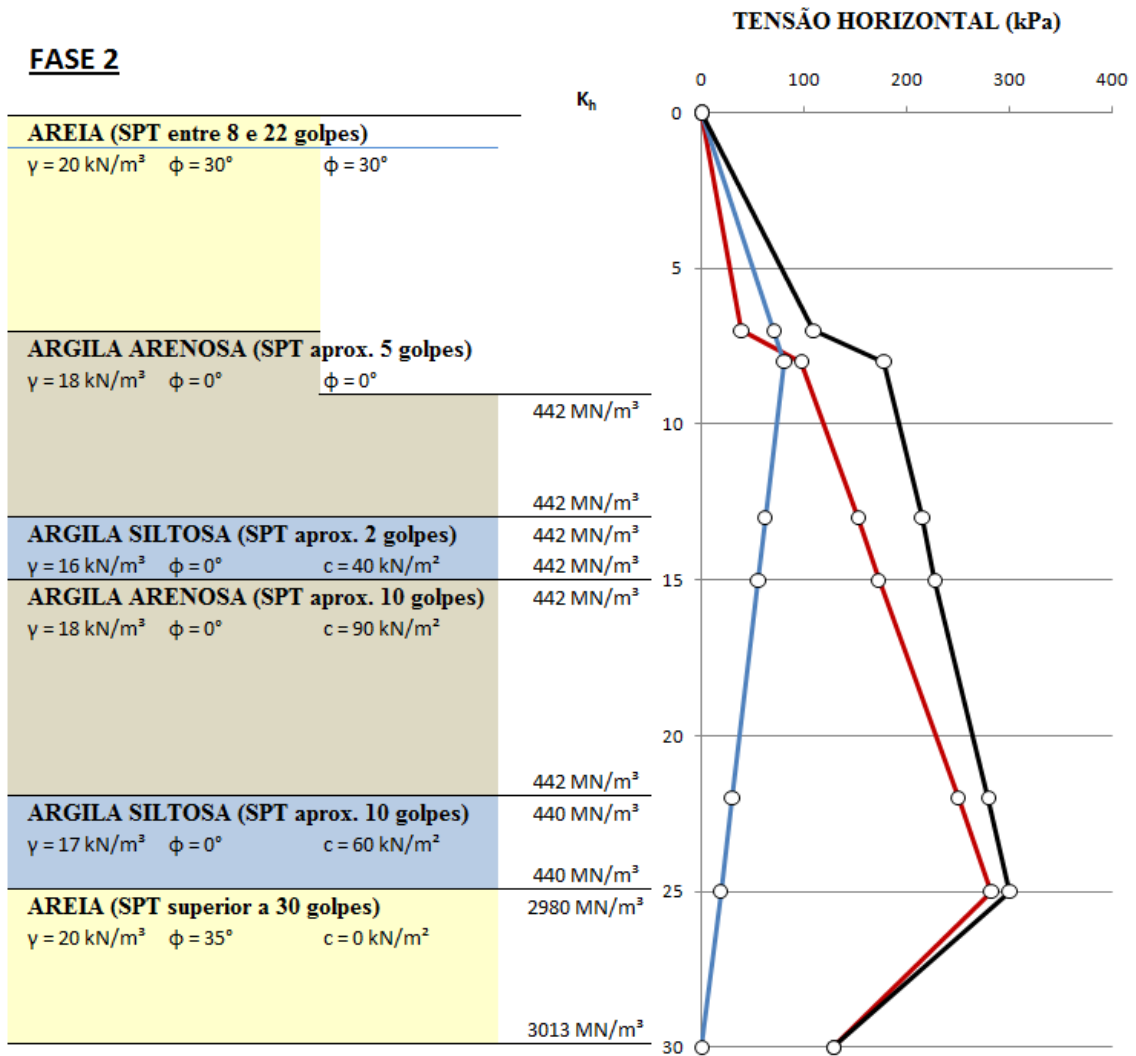


Figura 3-30 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 2

A Fase 2 caracteriza pela presença do primeiro nível de estroncas, portanto durante a modelagem da estrutura, nesta fase deverá ser implantado um apoio do 2º gênero para representar a estronca. Caso a estronca seja muito flexível uma opção para melhor representação seria calcular a matriz de rigidez e representar este elemento estrutural como um apoio elástico (mola).

Nesta fase a escavação chega a cota -8, e o lençol freático chega ao mesmo nível.

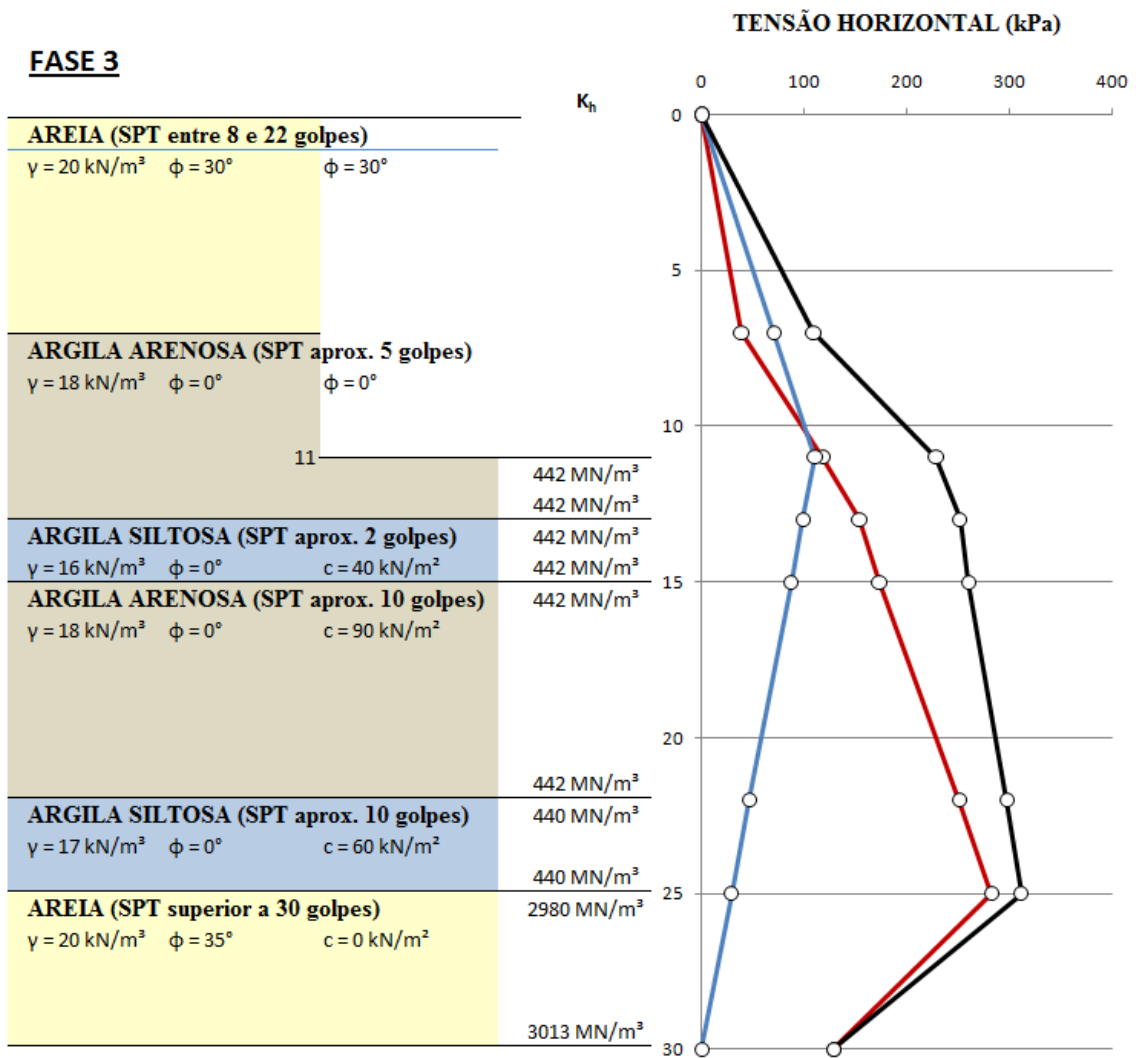


Figura 3-31 Distribuição dos coeficientes de reação obtidos por Redes Neurais e diagrama de empuxos para a Fase 3

Por fim na fase 3 é alcançada a cota final do projeto (- 11 m), e na modelagem devem ser considerados os dois níveis de estronca.

Com estes dados pode-se aplicar a um programa de análise estrutural para a determinação dos esforços atuantes na estrutura devido o carregamento de Rankine, e os coeficientes de Reação da Rede Neural.

Na figura 3-32 estão apresentados os resultados das três etapas e do Método Evolutivo.

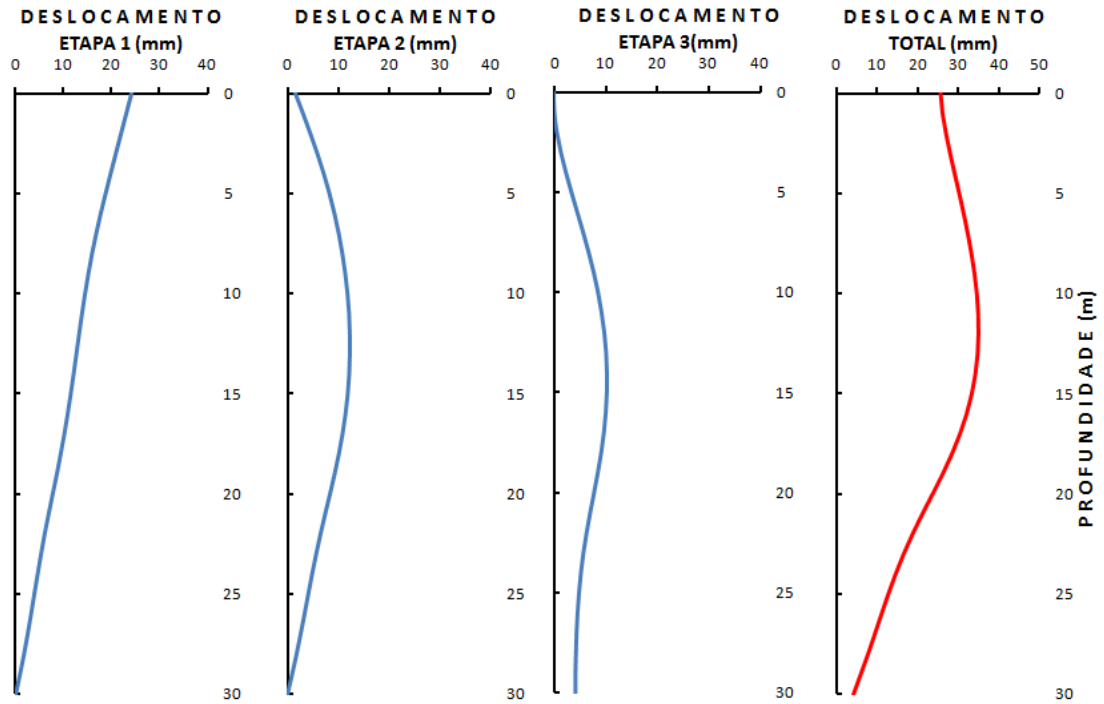


Figura 3-32 Deslocamentos horizontais obtidas das três etapas construtivas do Metrô-Rio.

E por fim, comparando os resultados das duas modelagens (MEF e coeficiente de Reação) com os resultados da instrumentação teremos:

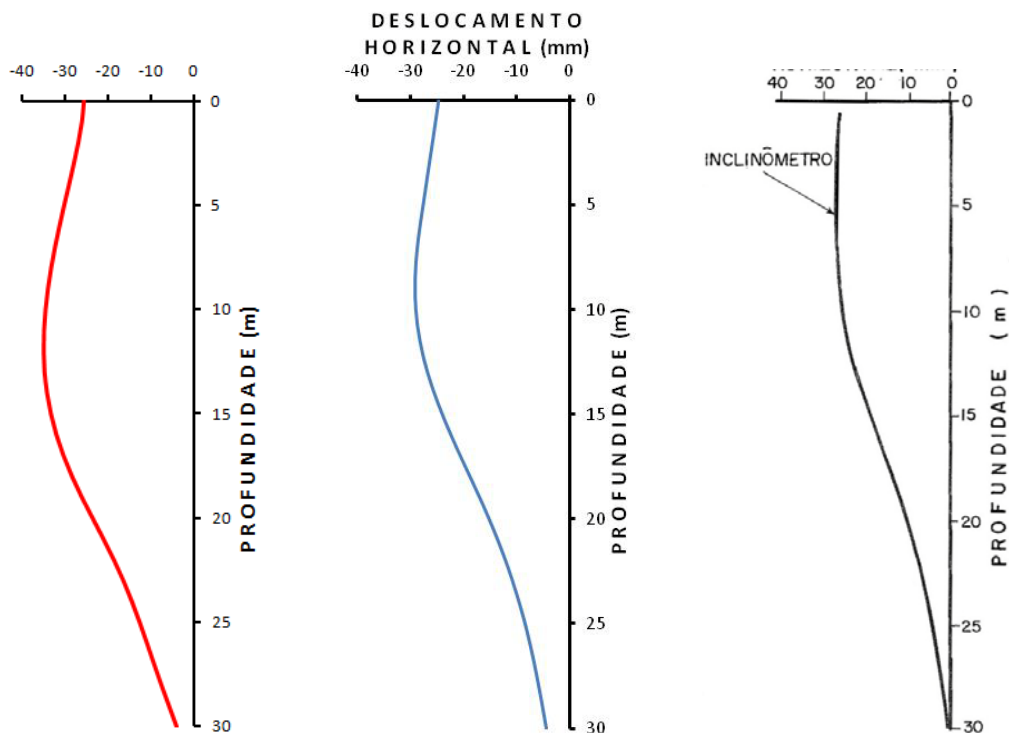


Figura 3-33 Deslocamentos horizontais obtidos por Coeficientes de Reação (vermelho) por análise não-drenada com o programa Plaxis (azul) e medidos na obra do Metrô-Rio (preto)

4 ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso será empregado o Porto de Itajaí (Porto Estinave). Localizado na cidade de Itajaí-SC, na margem direita do rio Itajaí-Açu distando cerca de 3,2 km de sua foz, o Porto de Itajaí é o principal porto de Santa Catarina, sendo atualmente o segundo maior do país em movimentação de contêineres, atuando como porto de exportação, com área de influência formada pelos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Os principais produtos exportados são madeira, pisos cerâmicos, máquinas, açúcar, papel e fumo, e os principais produtos importados são trigo, produtos químicos, motores, têxteis, papel e pisos cerâmicos.



Figura 4-1. Planta de Localização do Porto Estinave

A ampliação do porto de Itajaí visa a instalação de um cais de 15,50 m de largura em uma extensão externa de 390 m, ocupando área de 6.000 m²; um armazém para depósito de 8.000 m², uma administração e portaria com 1.000 m²; um pátio pavimentado de estocagem e movimentação de cargas a céu aberto de 20.000 m² e duas balanças rodoviárias para pesagem. A área total dos terrenos ocupados é de 38.000 m².

4.1.1 Geometria do Porto

Dentro do escopo da dissertação, assume grande relevância uma análise estatística dado que a obra do cais possui uma extensão de 390 m, e a seção transversal dessa estrutura é

única. Assim, para os carregamentos da estruturas, considerando os parâmetros usuais de projeto deste tipo de obras, temos a seção transversal tipo abaixo apresentada como corrente para a obra do Porto de Itajaí.

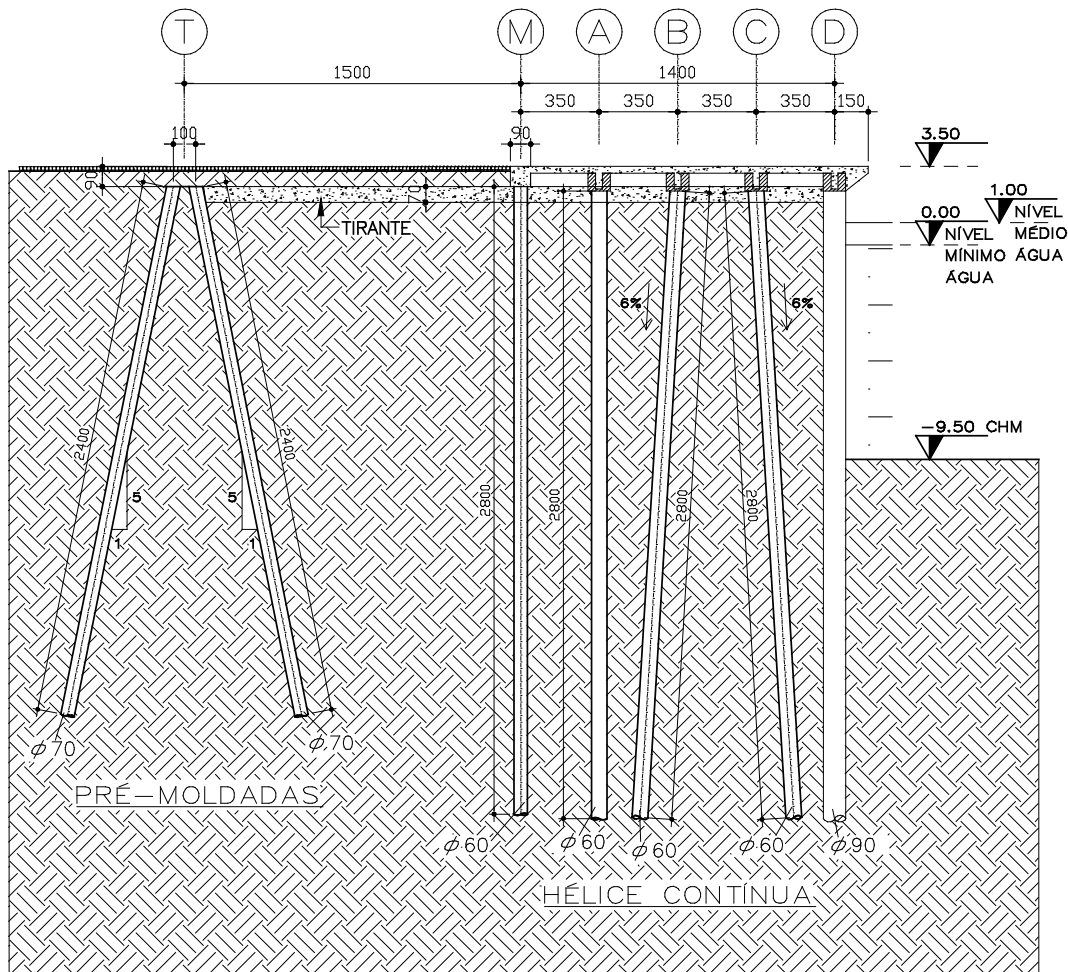


Figura 4-2 Geometria do porto de Itajaí (Estinave)

Observa-se que a seção da estrutura atualmente apresenta uma certa complexidade, tornando difícil a modelagem da estrutura como um todo. Assim optou-se por modelar em partes, separando a cortina do grupo de estacas e tirante.

4.1.2 Propriedades dos Materiais Estruturais

De forma a priorizar a avaliação geotécnica da obra foram atribuídos aos elementos estruturais parâmetros de resistência e deformabilidade determinísticos. Com isso tem-se as propriedades dos materiais tal como apresentados nas páginas a seguir.

Concreto. O modulo de elasticidade do concreto foi determinado pela seguinte equação (item 8.2.8 da NBR 6118:2003).

$$E_c = 4760\sqrt{f_{ck}} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (4-1)$$

Assim, de acordo aos dados fornecidos, considera-se uma resistência do concreto a compressão de $f_{ck} = 20\text{MPa}$, considerou-se o modulo de elasticidade do concreto $E_c = 21 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$. Para o valor do *coeficiente de Poisson*, adotou-se $\nu = 0,20$, este valor é compatível com a literatura consultada. O peso volumétrico adotado foi de $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Aço. O valor do modulo de elasticidade para o aço adotado foi de $E_s = 210 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$. A densidade do aço considerada foi de $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Estacas. De acordo aos desenhos foi verificada a existência de três tipos de Estacas circulares reforçadas com aço. A primeira com diâmetro $\phi = 1,00\text{m}$ e a segunda com $\phi = 0,70\text{m}$, e a terceira com $\phi = 0,60\text{m}$. Denominadas neste informe como E1, E2 e E3 respectivamente. Na tabela seguinte são apresentados os cálculos das propriedades geométricas de área do elemento estaca considerando-se uma largura unitária de 1m.

Tabela 4-1 Propriedades de área das estacas

Tipo	Diâmetro (cm)	A_{eq} (m^2)	I_{eq} (m^4)	$E_c \cdot A_{eq}$ (kN/m)	$E_c \cdot I_{eq}$ ($\text{kN/m}^2/\text{m}$)	w (kN/m/m)
E1	90	0,237022	0,015084	4977,46E03	316,76E03	6,655
E2	70	0,119650	0,003700	2512,65E03	77,71E03	3,551
E3	65	0,090478	0,002036	1900,04E03	42,75E03	2,822

É importante mencionar que tanto o momento de inércia e a área indicada na tabela anterior referenciam as propriedades equivalentes para uma seção de concreto, considerou-se neste caso $\alpha_e = E_s/E_c = 10$.

Cortina de contenção. A cortina de contenção é conformada por estacas de diâmetro $\phi = 0,90 \text{ m}$. Na tabela seguinte são apresentadas as propriedades geométricas de área do elemento cortina de contenção considerando-se a largura unitária.

Tabela 4-2 Propriedades de área da cortina de contenção

Tipo	A_{eq} (m^2/m)	I_{eq} (m^4/m)	$E_c \cdot A_{eq}$ (kN/m)	$E_c \cdot I_{eq}$ ($kN/m^2/m$)	w_{eq} ($kN/m/m$)
C1	0,727054	0,036807	15268,14E03	772,95E03	14,206

Viga-Tirante. Conforme os desenhos, a viga-tirante (base $b = 30$ cm e altura $a = 60$ cm) conecta a cortina de contensão com as estacas de $\phi = 1,00$ m. Esta viga-tirante possui reforços de aço, a mesma que e indicada nos desenhos respectivos. Na tabela seguinte são apresentados os resultados das propriedades geométricas de área do elemento viga-tirante considerando-se a largura unitária.

Tabela 4-3 Propriedades de área da viga-tirante (compressão)

Tipo	A_{eq} (m^2/m)	I_{eq} (m^4/m)	$E_c \cdot A_{eq}$ (kN/m)	$E_c \cdot I_{eq}$ ($kN/m^2/m$)	w_{eq} ($kN/m/m$)
V1	0,059507	0,001878	1249,65E03	39,44E03	1,955

E importante mencionar que tanto o momento de inércia e a área indicada na tabela anterior referenciam as propriedades equivalentes para uma seção de concreto, considerou se neste caso $\alpha_e = E_s/E_c = 10$.

Para o caso do tirante quando trabalha só em tração, considera se unicamente as propriedades do aço. Na tabela seguinte são apresentados os resultados das propriedades geométricas de área do elemento viga-tirante considerando se uma largura unitária de 1m.

Tabela 4-4 Propriedades de área da viga-tirante (tração)

Tipo	A_s (m^2)	$E_s \cdot A_s$ (kN/m)	w_s ($kN/m/m$)
T1	0,000898	188,50E03	0,069

Diafragma (Laje). Na tabela seguinte são apresentados os resultados das propriedades geométricas de área do elemento diafragma considerando se uma largura unitária de 1 metro.

Tabela 4-5 Propriedades de área do diafragma

Tipo	A_{eq} (m^2/m)	I_{eq} (m^4/m)	$E_c \cdot A_{eq}$ (kN/m)	$E_c \cdot I_{eq}$ ($kN/m^2/m$)	w_{eq} ($kN/m/m$)
D1	0,315778	0,002412	6631,340E03	50,650E03	8,806

É importante mencionar que tanto o momento de inércia e a área indicada na tabela anterior referenciam as propriedades equivalentes para uma seção de concreto, considerou-se neste caso $\alpha_e = E_s/E_c = 10$.

4.1.3 Carregamentos Aplicados

A verificação da estrutura será realizada em dois momentos, um para a verificação geotécnica do comportamento da estrutura (aferição do modelo digital) e outra para o dimensionamento da estrutura propriamente dito.

No primeiro momento serão verificados os carregamentos reais da estrutura, ou seja, de como esta estrutura estará solicitada na realização, para a simulação da dragagem da estrutura e verificação das deformações na parede.

No segundo momento será verificada a estrutura segundo os carregamentos usuais de forma a obter o dimensionamento da cortina. Para tal serão adotados uma carga vertical distribuída de 120 kN/m² na estrutura, 15 kN/m² no trecho onde será realizada a ancoragem e 50 kN/m² na área de estocagem.

4.1.4 Investigações Geotécnicas

As investigações geotécnicas realizadas na região compreenderam a execução de sondagens tipo SPT (Standard Penetration Test) em um total de 26 furos dos quais foram aproveitados 17 sondagem na área de interesse. Foram também realizados ensaios tipo CPTu (Piezocone), em dois pontos.

Assim, como nas análises das estruturas é necessário, de primeira mão, a definição do horizonte no qual será inserida a estrutura, as propriedades das camadas (c , ϕ , γ , E , μ , etc) de forma a obtermos dados que nos possibilitem avaliar o comportamento da estrutura frente às solicitações consolidados com a resposta (em termos de confiabilidade) das sondagens. Para tal foi criado um banco de dados das sondagens

SPT com a classificação do material, a profundidade e o número de golpes (N_{SPT}).

Abaixo segue os valores do N_{SPT} no banco de dados:

Tabela 4-6 Levantamento geo-estatístico do cais do porto de Itajaí

Prof.	1	2	5	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	5	6	6	1	1	0,02	0,03	2	0,06	0,02	0,03	6	3	2	0,04	0,04	0,03
2	3	5	0	0,03	0,02	0,02	0	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,03
3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04
4	0,02	0,02	2	0,02	0	0	0	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
5	2	2	5	0,03	2	2	5	7	4	4	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	7
6	11	13	6	6	6	6	5	5	9	5	5	5	4	0,02	0,04	8	13
7	13	11	5	6	6	5	5	11	3	0,04	12	0,04	3	12	3	11	8
8	12	12	6	5	7	7	4	2	10	9	11	0,04	18	10	12	15	12
9	10	12	6	6	6	7	6	7	9	7	5	14	7	12	7	16	13
10	7	13	5	5	6	6	6	12	4	5	12	0,04	0,04	9	7	18	6
11	7	12	6	6	6	7	5	16	7	12	15	11	29	9	8	13	13
12	7	13	6	6	4	8	4	11	6	12	0,05	0,04	4	13	4	2	2
13	8	10	7	0	4	2	0	13	5	2	19	20	35	0,05	16	18	18
14	8	6	5	0	4	0,03	0	17	24	2	20	5	35	0,04	26	3	0,05
15	6	7	5	0	4	0,02	9	5	4	12	8	8	4	3	5	2	3
16	7	6	5	0,02	8	24	10	3	16	10	12	9	16	18	5	16	0,05
17	6	6	4	23	7	28	9	5	7	5	20	5	12	17	7	5	7
18	6	4	5	24	8	27	8	7	7	5	2	5	7	7	7	5	2
19	7	4	10	19	9	25	2	7	18	12	5	7	8	7	10	9	9
20	6	4	12	3	19	24	24	9	12	16	15	5	5	4	10	5	21
21	5	4	11	6	24	22	21	7	30	12	11	5	5	7	7	24	24
22	7	13	13	6	0	23	22	7	21	5	16	5	5	7	10	12	25
23	6	13	13	2	0	0	21	9	0,05	5	7	5	7	7	12	10	18
24	5	11	2	0,01	0	0	0,02	2	12	7	7	7	10	7	5	5	12
25	2	12	0,04	0,01	0	0	0,02	4	7	7	4	18	10	24	9	7	13
26	0	3	0,02	0,01	0,03	0	0,02	4	7	9	4	24	22	21	7	7	4
27	0	2	0,02	0,01	3	0	0,02	5	5	9	9	15	21	18	5	7	5
28	2	3	0,02	0,01	4	3	3	5	7	9	9	15	18	21	4	10	4
29	3	3	2	4	4	4	4	5	7	7	9	13	14	10	7	12	4
30	3	3	3	4	29	4	4	5	12	10	7	11	16	12	7	12	7
31	4	4	4	3	26	16	3	12	24	12	7	7	21	10	5	11	12
32	21	18	24	28	24	26	28	44	50	34	27	5	18	19	5	10	12
33	23	23	23	26	25	25	25	26	36	40	39	7	19	16	44	54	60
34	21	25	21	24	23	25	6	24	20	32	22	4	16	21	32	29	26
35	19	22	23	17	8	9	7	25	50	24	22	7	20	6	50	30	23
36	21	6	16	14	8	10	8	29		23	24	7	17	7		31	24
37	19	7	5	14	7	10	8			12	10	8	17	7		21	11
38	18	6	4	16	8	9	8			12	12	12	7	7		24	10
39	17	6	5	16	6	10	7			13	24	16	7	8			9
40	6	21	5	20	5	29	21			12	22		7	10			5
41	7	24	17	26		28	24			7	14		9	13			25
42	6	23				21	25			20	14		9	20			18
43	17	25					28			29	18		10	16			18
44	23	26					27			50			18	12			20
45	26												50				

Neste banco de dados também foram investigados os materiais de forma a se definir o tipo de solo quanto ao comportamento (argiloso ou arenoso). Na página a seguir é

apresentado o resumo deste estudo empregando-se, para reduzir a quantidade de dados presente no banco de dados, a nomenclatura para a classificação táctil-visual realizada pelo sondador:

A – Argila R – Areia S – Silte.

Tabela 4-7 Materiais das Camadas

Prof.	1	2	5	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
5	A	A	RS	A	A	A	A	A	AS	RA	A	A	A	A	A	A	RA
6	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	R	RA	R	RA	A	A	A	RA	RA
7	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	R	A	R	A	RA	RA	A	RA	A
8	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	R	R	R	R	A	A	RA	A	RA
9	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	A	R	R	A	R	RS	RA	RA	RA	RA
10	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	R	R	R	R	A	A	RA	RA	RA
11	RA	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	R	R	R	R	R	R	A	RA	RA
12	RA	RS	AR	RS	RA	RS	RS	R	R	R	A	A	A	R	RA	A	A
13	RA	RS	AR	A	RA	RS	A	R	A	A	R	R	RS	A	R	R	R
14	RA	RA	AR	A	RA	A	A	R	R	A	R	AR	RS	A	R	A	A
15	RA	RA	AR	A	RA	A	A	R	A	R	R	R	RA	A	R	A	RA
16	RA	RA	AR	A	RA	A	RA	RS	R	R	R	R	RA	R	RA	R	RA
17	RA	RA	AR	AS	RS	R	RA	A	RA	A	R	A	RA	R	RA	AR	RA
18	RA	ASR	AR	AS	RS	R	RA	RA	RA	A	A	A	AR	R	A	AR	A
19	RA	ASR	RS	AS	RS	R	RA	RA	RA	A	A	A	AR	RA	A	RA	R
20	RA	ASR	RS	AR	RS	R	A	RA	RA	RA	A	A	AR	RA	A	RA	R
21	RA	ASR	RS	AR	RS	R	RS	RA	RA	RA	RA	A	AR	RA	A	RA	R
22	RA	RS	RS	AR	A	RS	RS	RA	RA	RA	RA	A	AR	RA	A	RA	R
23	RA	RS	RS	A	A	A	RS	RA	A	A	A	A	AR	RA	A	RA	R
24	RA	RS	A	A	A	A	RS	A	R	A	A	A	AR	RA	A	A	R
25	A	RS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	AR	A	RA	A	R
26	A	ASR	A	A	A	A	A	A	A	AR	A	R	RS	A	RA	A	A
27	A	ASR	A	A	AR	A	A	A	A	AR	AR	AR	RS	A	A	A	A
28	A	ASR	A	ASR	AR	AR	A	A	A	AR	AR	R	RS	A	A	AR	A
29	AR	ASR	A	ASR	AR	AR	AS	A	A	AR	AR	RS	R	RA	A	AR	A
30	AR	ASR	AR	ASR	RS	AR	AS	A	AR	A	AR	RS	R	RA	A	AR	AR
31	AR	ASR	AR	R	R	R	AS	AR	AR	A	AR	A	RS	RA	AR	AR	AR
32	RS	RS	RS	RS	R	R	AS	AR	R	R	R	A	RS	R	AR	AR	AR
33	RS	RS	RS	RS	R	R	R	RS	R	R	R	R	A	RS	R	R	R
34	RS	RS	RS	RS	R	R	R	R	R	R	R	R	AR	RS	R	R	R
35	RS	RS	RS	RS	RS	RA	AR	RS	R	R	R	R	AR	RS	A	R	R
36	RS	AR	RS	RS	RS	RA	AR	RS	R	R	R	R	AR	RS	A	R	R
37	RS	AR	AR	R	RS	RA	AR	R	R	AR	AR	AR	RS	A	R	R	AR
38	RS	AR	AR	R	RS	RA	AR	R	R	AR	AR	AR	A	A	R	R	AR
39	RS	AR	AR	R	RS	RA	AR	R	R	AR	AR	AR	A	AR	R	R	AR
40	A	RS	AR	R	AR	RS	RS	R	R	AR	R	R	A	AR	R	R	A
41	A	RS	RS	R	R	R	R	R	R	AR	R	R	A	AR	R	R	R
42	A	RS	R	R	R	R	R	R	R	AR	R	R	A	R	R	R	R
43	RS	RS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R
44	RS	RS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
45	RS	RS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R

Assim, como resultado temos um horizonte com 4 camadas cujas duas primeiras camadas apresentam espessuras médias e desvios padrões, em metros de ($e = 5,5$, $\sigma = 1,2$) e ($e = 6,5$, $\sigma = 1,8$) respectivamente. O limite entre a camada 3 e 4 não apresenta grande relevância para o estudo pois passa muito distante da área onde são observados consideráveis aumento de tensões e deformações.

Para as camadas em solos argilosos foram utilizadas correlações de ensaios de campo para ensaios tipo Piezocone e os resultados obtidos foram: Camada 1 ($c_{\text{médio}} = 10$ kN/m²; $c_{\text{dev. pad.}} = 6$ kN/m²); Camada 3 ($c_{\text{médio}} = 20$ kN/m²; $c_{\text{dev. pad.}} = 8$ kN/m²).

Os módulos de Poisson e de Young foram considerados como parâmetros determinísticos.

Abaixo segue uma tabela contendo os resultados dos números de golpes das camadas e o material predominante nesta camada.

Tabela 4-8 Dados das Camadas

	Espessura		Material	N _{SPT}	
	Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.
Camada 1	5,5	1,2	Argila	0,99	1,90
Camada 2	6,5	1,8	Are. Silt.	7,80	4,60
Camada 3	19	-	Argila	8,65	7,21
Camada 4	14	-	Areia	18,43	11,06

Com estes dados temos:

Camada 1:

<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
$c = 10$ kN/m ²	$c = 6$ kN/m ²
$\phi = 2,5^\circ$	$\phi = 2,0^\circ$
$\gamma = 20,5$ kN/m ²	$\gamma = 2,5$ kN/m ²
$E = 14.000$ kN/m ²	$E = -$
$\mu = 0,35$	$\mu = -$

Camada 2:

<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
$c = 0$ $\phi = 32,5^\circ$ $\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^2$ $E = 20.000 \text{ kN/m}^2$ $\mu = 0,30$	$c = 0$ $\phi = 4,6^\circ$ $\gamma = 2,5 \text{ kN/m}^2$ $E = -$ $\mu = -$

Camada 3:

<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
$c = 20 \text{ kN/m}^2$ $\phi = 2,5^\circ$ $\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^2$ $E = 18.000 \text{ kN/m}^2$ $\mu = 0,30$	$c = 8 \text{ kN/m}^2$ $\phi = 2,0^\circ$ $\gamma = 2,5 \text{ kN/m}^2$ $E = -$ $\mu = -$

Camada 4:

<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
$c = 0$ $\phi = 37,1^\circ$ $\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^2$ $E = 30.000 \text{ kN/m}^2$ $\mu = 0,30$	$c = 0$ $\phi = 1,8^\circ$ $\gamma = 2,5 \text{ kN/m}^2$ $E = -$ $\mu = -$

Por fim temos que as propriedades a serem empregadas no trabalho são as médias obtidas das diversas correlações com os ensaios de campo, apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 4-9 Propriedade médias das camadas de solo empregadas nas análises numéricas

<i>Camada</i>	<i>c (kN/m²)</i>	<i>ϕ (°)</i>	<i>γ (kN/m²)</i>	<i>E (kN/m²)</i>	<i>μ</i>
1	10,0	2,5	20,5	14.000	0,35
2	0,0	32,5	16,5	20.000	0,30
3	20,5	2,5	20,5	18.000	0,30
4	0,0	37,1	16,5	30.000	0,30

Observa-se, porém, que para uma análise mais detalhada seria necessário verificar as condições da estrutura para os casos extremos de carregamento e resistência.

4.1.5 Dimensionamentos

4.1.5.1 Modelagem tradicional (teórica)

Na modelagem dita tradicional foi simulado as tensões no solo segundo a teoria de Rankine no método do apoio livre.

Foram adotados como parâmetros iniciais da estrutura:

$L_{\text{drag}} = 12 \text{ m}$ Profundidade da dragagem

$D = 16 \text{ m}$ Ficha

$L_{\text{na}} = 2,5 \text{ m}$ Prof. média do N.A. em relação ao topo do cais.

Os parâmetros a serem determinados estão listados na figura 4-3

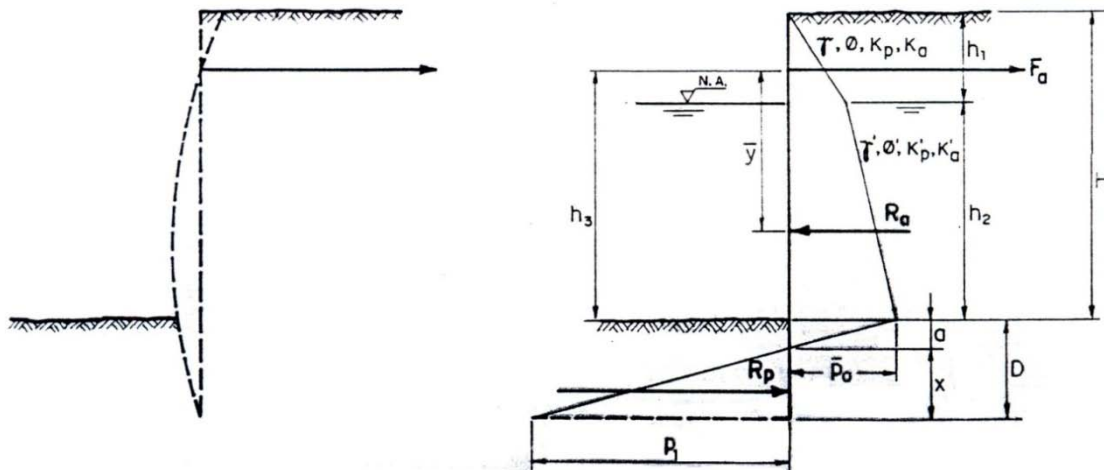


Figura 4-3 Esquema de cargas do Método do Apoio Livre (Bowles, 1977)

As propriedades das camadas seguiram os valores anteriormente apresentados na tabela 4-5. Com os dados apresentados podemos determinar os coeficientes de empuxo e as tensões nas bases de cada camada, conforme apresentado na revisão bibliográfica, obtendo a tabela abaixo.

Tabela 4-10 Propriedades das camadas

Camada	Cota Base	K_a	K_p	σ_v
1a	-2,50 m	0,916	1,091	
1	-5,50 m	0,916	1,091	82,75 kN/m ²
2	-12,00 m	0,301	3,322	125,00 kN/m ²
3	-31,00 m	0,916	1,091	324,50 kN/m ²
4	-45,00 m	0,247	4,040	415,50 kN/m ²

A localização do ponto de mudança dos diagramas de esforços se dá pela seguinte fórmula:

$$a = \frac{p_a}{\gamma \cdot (K_p - K_a)}$$

Onde p_a é o empuxo horizontal na linha de dragagem, assim temos:

$$a = \frac{\sigma_v \cdot K_a}{\gamma \cdot (K_p - K_a)} = \frac{82,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,916}{10,5 \text{ kN/m}^3 \cdot (1,091 - 0,916)} = 3,84 \text{ m}$$

O empuxo passivo é dado por:

$$R_p = \gamma_{ef} \cdot x^2 (K_p - K_a) + c \cdot (\sqrt{K_p} - \sqrt{K_a}) \cdot x = 293 \text{ kN/m}$$

O empuxo passivo foi dividido em três parcelas devido a variação dos parâmetros do solo. Assim obteve-se:

$$pa_1 = \gamma_1 \cdot L_{na} \cdot K_{a2} = 15,43 \text{ kN/m}^2$$

$$pa_2 = \sigma_{v1} \cdot K_{a1} - c_1 \cdot \sqrt{K_{a1}} = 66,26 \text{ kN/m}^2$$

$$pa_3 = \sigma_{v2} \cdot K_{a2} - c_2 \cdot \sqrt{K_{a2}} = 37,62 \text{ kN/m}^2$$

$$R_a = pa_1 \cdot \frac{L_{na}}{2} + (pa_1 + pa_2)(L_1 - L_{na}) + pa_3 \cdot \frac{a}{2} = 336,52 \text{ kN/m}^2$$

A força atuante no tirante é dada por:

$$F_a = R_a - R_p = 43,23 \text{ kN/m}$$

Aplicando a força atuante no tirante no coeficiente de mola fornecido pela modelagem da estrutura pelo SAP2000 mais a frente teremos a deformação na ponta do tirante de aproximadamente 0,40 mm.

4.1.5.2 Modelagem via MEF com modelo de Rosenblueth

Dada a configuração dos estudos geotécnicos e as respostas de obras de contenção frente aos parâmetros do solo, optou-se por trabalhar com apenas quatro parâmetros geotécnicos estatísticos: os pesos específicos da primeira e da segunda camada, a coesão da primeira camada (solo argiloso) e o ângulo de atrito da segunda camada (solo arenoso). Os demais parâmetros foram considerados determinísticos, não entrando, assim, no mérito do estudo.

Assim, temos a seguinte tabela:

Tabela 4-11 Propriedade das camadas de solo para análises estatísticas

Cam.	c (kN/m ²)		Φ (°)		γ (kN/m ²)		E (kN/m ²)		μ	
	Média	Desv.	Média	Desv.	Média	Desv.	Média	Desv.	Média	Desv.
1	10,0	6,0	2,5	-	20,5	2,5	14.000	-	0,35	-
2	0,0	-	32,5	4,6	16,5	2,5	20.000	-	0,30	-
3	20,5	-	2,5	-	20,5	-	18.000	-	0,30	-
4	0,0	-	37,1	-	16,5	-	30.000	-	0,30	-

O método de Rosenblueth discretiza uma distribuição contínua. Assim, para o problema apresentado, temos a seguinte formulação:

$$\varphi_{\pm\pm\pm\pm} = \varphi(\overline{c_{arg.}} \pm \sigma[c_{arg.}], \overline{\gamma_{arg.}} \pm \sigma[\gamma_{arg.}], \overline{\phi_{are.}} \pm \sigma[\phi_{are.}], \overline{\gamma_{are.}} \pm \sigma[\gamma_{are.}])$$

Em torno das médias a função pode ser distribuída somando ou diminuindo os desvios respectivos das variáveis aleatórias a ela associadas aplicando estes valores diretamente no programa, obtendo os resultados apresentados. Abaixo seguem os resultados das análises.

Tabela 4-12 Tensões efetivas horizontais máximas das análises do Plaxis

	Camada 1		Camada 2		$\sigma_{h \text{ max.}}$ (kN/m ²)	$\sigma_{h \text{ max.}}^2$ (kN/m ²) ²	$\varepsilon_{h \text{ max.}}$ (10 ⁻³ m)	$\varepsilon_{h \text{ max.}}^2$ (10 ⁻⁶ m ²)
	C _{Argila}	V _{Argila}	Φ_{Areia}	V _{Areia}				
++++	16	23	37,1	19	130,00	16900,00	73,39	5386,09
+++-	16	23	37,1	14	90,07	8112,60	55,04	3029,40
++ +	16	23	27,9	19	127,92	16363,53	79,80	6368,04
++ -	16	23	27,9	14	90,33	8159,51	57,91	3353,57
+ - ++	16	18	37,1	19	88,15	7770,42	53,03	2812,18
+ - -	16	18	37,1	14	72,50	5256,25	33,73	1137,71
+ - - +	16	18	27,9	19	95,31	9083,04	49,54	2454,21
+ - - -	16	18	27,9	14	74,53	5554,72	41,48	1720,59
- +++	4	23	37,1	19	106,89	11425,47	85,17	7253,93
- ++-	4	23	37,1	14	103,12	10633,73	60,23	3627,65
- +- +	4	23	27,9	19	161,93	26221,32	93,08	8663,89
- +- -	4	23	27,9	14	95,86	9189,14	65,83	4333,59
- - ++	4	18	37,1	19	98,42	9686,50	59,18	3502,27
- - +-	4	18	37,1	14	75,52	5703,27	41,69	1738,06
- - - +	4	18	27,9	19	92,94	8637,84	63,94	4088,32
- - - -	4	18	27,9	14	85,59	7325,65	44,84	2010,63
	$\Sigma / 16$	99,317188	10376,438	59,8675	3842,5083			

Assim, temos que:

$$E[\sigma'_h] = 99,34 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma[\sigma'_h] = \sqrt{E[\sigma_h'^2] - (E[\sigma'_h])^2} \therefore \sigma[\sigma'_h] = \sqrt{7325,65 - (99,32)^2}$$

$$\sigma[\sigma'_h] = 22,64 \text{ kN/m}^2$$

$$V = \frac{22,64}{99,34} \cong 0,23$$

$$E[\varepsilon_h] = 59,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma[\varepsilon_h] = \sqrt{E[\varepsilon_h^2] - (E[\varepsilon_h])^2} \therefore \sigma[\varepsilon_h] = \sqrt{3842,51 - (59,87)^2}$$

$$\sigma[\varepsilon_h] = 16,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$V = \frac{16,07}{59,87} \cong 0,26$$

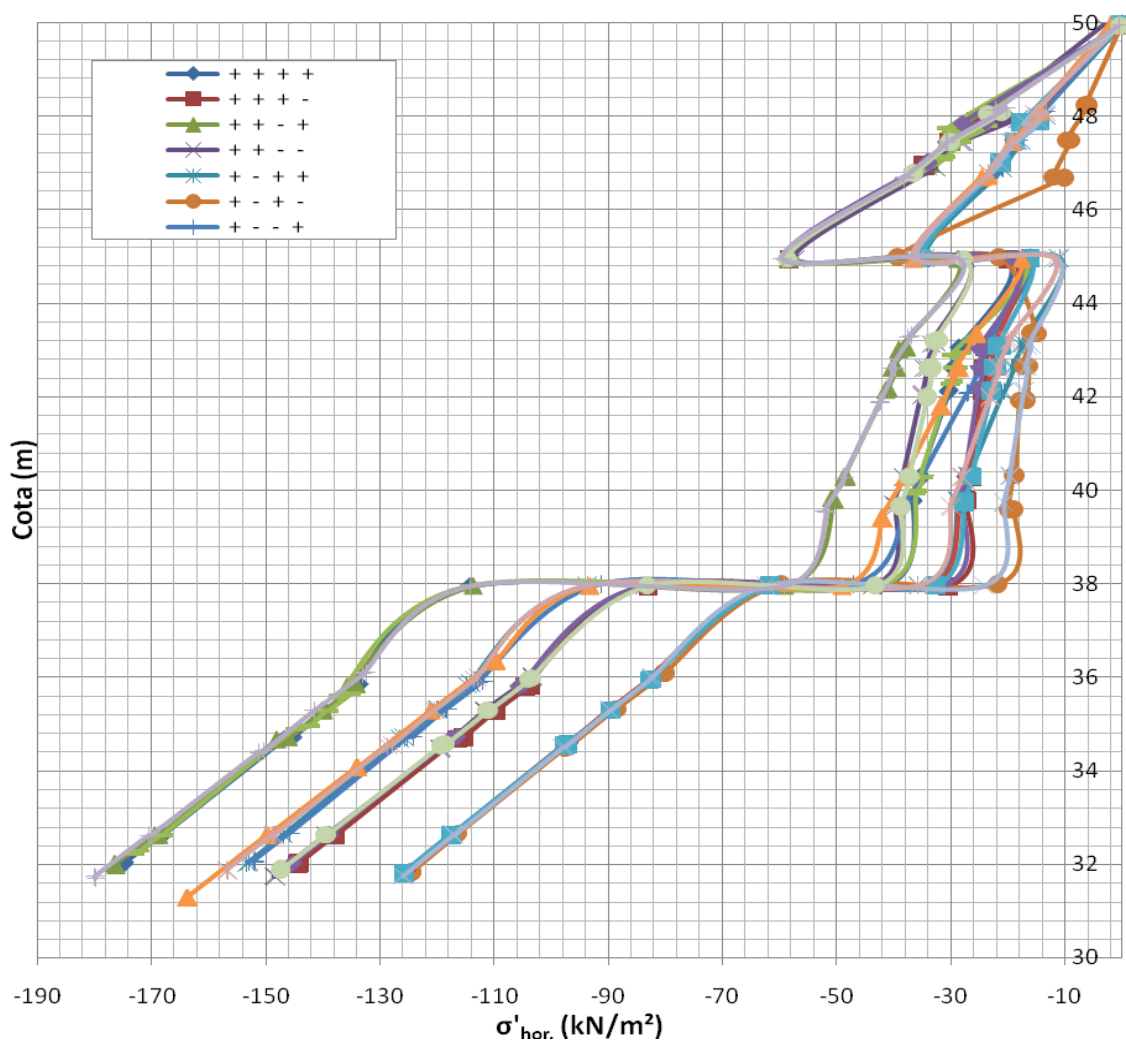


Figura 4-4 Diversos perfis de tensões horizontais obtidas no Plaxis durante o estudo do Método de Rosenblueth.

Observa-se que durante a execução do método de Rosenblueth foram obtidos diversos perfis de tensões que apresentam uma visão geral do comportamento da estrutura frente a variabilidade dos parâmetros, em suma, um pequeno estudo de sensibilidade com as variáveis e os desvios padrão.

4.1.5.3 Modelagem por Coeficientes de Reação

A modelagem por elementos de mola é de grande aceitabilidade por calculistas estruturais dada a facilidade de inserção destes elementos em programas de análise estrutural. Assim, é de grande valia a definição dos parâmetros geotécnicos em termos de coeficiente de molas para o cálculo de cortinas dado que além do acima exposto temos que a obtenção dos parâmetros geotécnicos por ensaios de campo e laboratório nem sempre é adequada aos parâmetros mínimos para a caracterização de um material

em um programa de MEF específico para geotecnia, sendo a complementação destes parâmetros realizada por referências bibliográficas para materiais semelhantes;

Por fim temos também o elevado custo dos pacotes computacionais que por diversas vezes torna-se um impeditivo para as pequenas empresas de adquiri-los e portanto adotar o MEF em suas análises.

Para determinar o comportamento da estrutura do cais foi modelado no SAP2000 esta estrutura considerando a reação dos apoios das estacas como coeficientes de mola. Esta modelagem considerou a estrutura pela teoria da elasticidade para elementos tipo barras (estacas) e por elementos finitos no caso das lajes, subdividindo a estrutura em duas estruturas analisadas isoladamente: a primeira foi o cais sob estacas com o tirante da cortina, e a segunda a cortina de estacas tipo hélice justapostas.

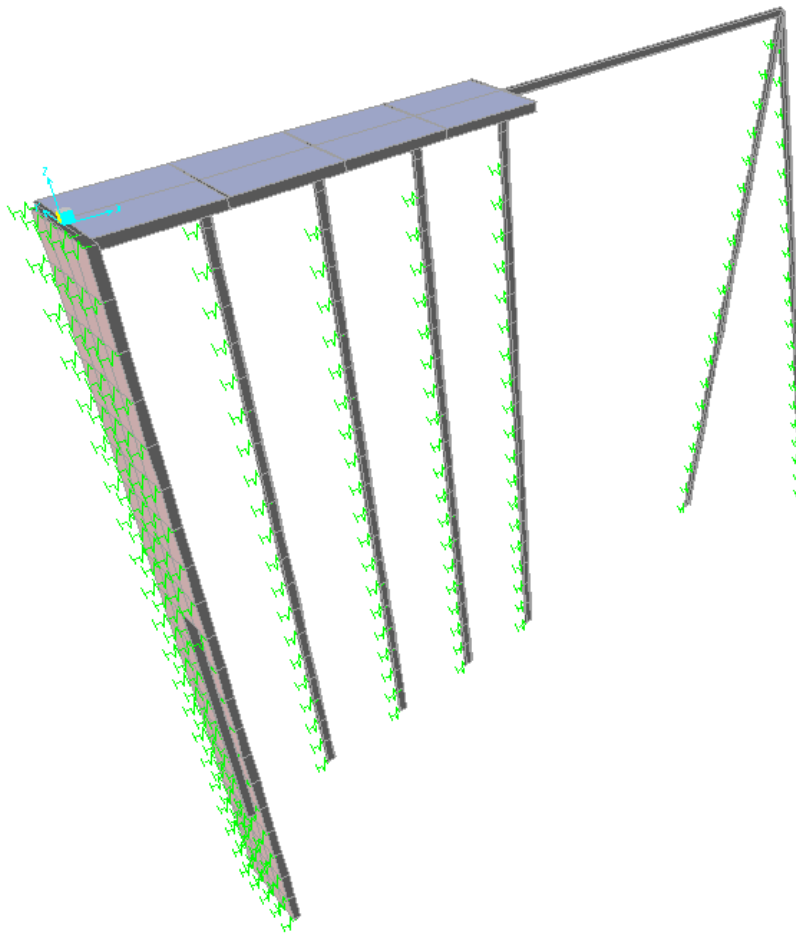


Figura 4-5 Estrutura modelada no SAP2000

Esta metodologia nos permite além de realizar a análise por programas de elementos finitos estruturais (SAP2000 no caso corrente), estender esta análise a programas de elementos finitos geotécnicos (Plaxis e Progeo, por exemplo) e até mesmo utilizar a matriz de rigidez da estrutura no ponto de conexão com a cortina para simular o comportamento da cortina frente a um tirante de comportamento similar ao da estrutura.

A modelagem da estrutura no SAP2000 é de grande facilidade, pois o software já está preparado para trabalhar com coeficientes de reação (modelo de winkler).

Tabela 4-13 Coeficientes de mola empregados na análise numérica

Z (m)	K _h (kN/m ³)	K _h (kN/m)		
		Estaca de 70	Estaca de 65	Estaca de 40
1 a 5	10000	7000	6500	4000
6	30385	21269	19750	12154
7	36154	25308	23500	14462
8	41923	29346	27250	16769
9	47692	33385	31000	19077
10	53462	37423	34750	21385
11	59231	41462	38500	23692
12	65000	45500	42250	26000
13 a 31	100000	70000	65000	40000

Como resultados do dimensionamento da estrutura no SAP2000 tivemos o deslocamento da estrutura do porto para uma carga unitária (1 kN), assim:

$$F = 1 \text{ kN}$$

$$d = 9,812 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$K = \frac{F}{d} = \frac{1 \text{ kN}}{9,812 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 101\,916 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS

Os estudos de estruturas de contenção podem apresentar problemas relativos às investigações geológico-geotécnicas e aos métodos de cálculos.

Pelas investigações geológico-geotécnicas é obtido o perfil geológico do subsolo (ou do maciço de corte), de onde serão definidos os parâmetros de resistência e deformação (coesão, ângulo de atrito e curva tensão/deformação) das várias camadas. A atual prática de projeto ainda se limita a estudos determinísticos com parâmetros mais conservadores. Nesta fase, os trabalhos devem ser conduzidos, sempre que possível, através de estudos probabilísticos.

Deve-se sempre ter em mente que estudos geológicos geotécnicos mal dirigidos podem invalidar totalmente a aplicabilidade de um método de cálculo mais sofisticado. Portanto, a utilização de métodos de cálculo não convencionais deve ser precedida de uma análise crítica, onde se verificará se o método sofisticado realmente trará mudanças de projeto.

O emprego de Redes Neurais mostrou-se uma boa ferramenta em se tratando de análise de grande massas de dados, sendo o *método resiliente de propagação*, utilizado na Rede Neural, mostrou-se bastante eficiente para o treinamento. Comparando o tempo de convergência com o *método do gradiente tradicional*, aquele foi cerca de 10 vezes mais rápido, facilitando os ajustes dos parâmetros da rede, permitindo a realização de muitos testes com diferentes configurações.

O estudo da influência das características da cortina de contenção na determinação dos Coeficientes de Reação indicaram que para cortinas muito rígidas ocorre uma suavização na variação dos coeficientes de reação. Portanto, em se tratando de dimensionamento de estruturas deste tipo, deve ser desenvolvida uma nova Rede Neural contemplando os parâmetros da estrutura tais como Módulo de Elasticidade e Momento de Inércia.

A verificação dos resultados da Rede Neural considerando todos os parâmetros apresentou resultados insatisfatórios durante a validação (ver figura 3-14). Tal fenômeno pode ter sido ocasionado pela diferença de comportamento dos materiais,

onde os solos arenosos apresentam tendência ao aumento dos coeficientes de reação com a profundidade, e os solos argilosos não (Terzaghi, 1955).

Esta diferença de comportamento dos solos arenosos e argilosos durante o treinamento da rede neural com o banco de dados completo implicou na necessidade de desmembrar a Rede Neural em duas, sendo uma para solos arenosos e outra para solos argilosos, cujos resultados apresentaram-se mais adequados.

Os resultados obtidos pela modelagem via coeficientes de reação evidenciaram a importância dos carregamentos (empuxos) para a obtenção de resultados compatíveis com o comportamento da estrutura.

No estudo do caso do Metrô-Rio a simulação compreendeu três etapas construtivas: a primeira com o primeiro nível de escavação (anterior à execução do tirante), a segunda com o primeiro nível de tirante executado e escavação para a colocação do segundo tirante, e a terceira com a escavação completada.

A comparação dos resultados obtidos considerando o emprego dos coeficientes de reação e carregamentos das teorias clássicas de empuxo de terra com os resultados do modelo em MEF e da instrumentação estão apresentados na figura 3.28.

Comparando os resultados obtidos nos modelos em MEF e de Coeficiente de Reação com a instrumentação, observa-se uma boa aproximação dos resultados.

A definição dos parâmetros empregados em análises de Elementos Finitos é uma tarefa difícil para engenheiros geotécnicos. Quando um solo apresenta várias camadas, torna-se difícil fazer uma análise de sensibilidade de parâmetros, uma vez que serão muitos. Nesta questão, as Redes Neurais têm uma contribuição importante a elas.

Recomendações para novos estudos:

Como conta-se hoje com equipamentos mais potentes que possibilitam análises mais sofisticadas e novas tecnologias de programação que possibilitam o desenvolvimento de análises mais acuradas, vislumbra-se como uma proposta de trabalho o desenvolvimento de uma Rede Neural com diversos casos históricos, onde se contou com grande volume de ensaios e instrumentação, voltada para a determinação dos parâmetros de entrada do MEF.

Seria interessante se Universidades e Firmas de Projeto construíssem suas Redes Neurais baseadas em banco de dados e que as disponibilizassem para a comunidade técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Analysis, P. v.-F. (2002). Reference Manual. A. A. Balkema Publishers.
- Biondi Neto, L., Sieira, A. C., Danziger, B. R., & Silva, J. G. (junho de 2006). Neuro CPT: Classificação de Solos Usando-se Redes Neurais Artificiais. *ENGEVISTA* , pp. 37-48.
- Blackburn, S. (1997). *Dicionário Oxford de Filosofia*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design* (2a. ed.). McGraw-Hill.
- Brinch Hansen, J. (1953). *Earth Pressure Calculation*. Copenhagen: The Danish Technical Press.
- Caloba, L. P. (2009). *Apostila de Redes Neurais Artificiais*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.
- Chowdhury, R. N. (1978). Slope Analysis. *Developments in Geotechnical Engineering Vol. 22* .
- Dayhoff, J. (1990). *Neural Network Architectures an introduction*. Van Nostrand Reinhold.
- Duncan, J. M., & Dunlop, P. (1970). Development of Failure Around Escavated Slopes. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division ASCE, Vol. 96* , 471-493.
- GEORIO. (2000). *Manual Técnico de Encostas - Ancoragens e Grampos*. Rio de Janeiro: GEORIO.
- Haykin, S. (1994). *Neural networks a comprehensive foundation*. Macmillan College P. C.

Henriques Junior, P. R. (2007). *Simulação Numérica de Ensaio de Arrancamento de Grampos*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

Hsu, S. (1974). Alguns Aspectos de Estabilidade de Taludes em Barragens de Terra. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações* .

Imaizumi, H., Koshima, A., Lozano, M. H., & Pacheco, I. B. (04 a 08 de Maio de 1981). Critérios e Análise de Estabilidade dos Taludes Escavados no Arenito Bauru. *3º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia* . Itapema, Santa Catarina.

Kédzi, A. (1975). *Pile Foundations - Foundation Engineering Handbook*. (H. F. Winterkorn, & H. Y. Fang, Eds.) Van Nostrand Reinhold.

Khang, L., Silva, F., & Grismala, R. (2005). Ultimate Lateral Resistência to Piles in Coesionless Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , 78-83.

Lima Alves, A. M., & Santa Maria, P. E. (2001). Análise Probabilística de Problemas Geotécnicos: Aplicação à Argila do Sarapuí. *Solos e Rochas* , 24.

Lo, K. Y., & Lee, C. F. (1973). Stress analysis and slope stability in strain-softening materials. *Geotechnique*, Vol. 23, No. 1 , pp. 1-11.

Lopes, F. d. (2006). *Notas de Aula de Elementos Finitos*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

Lozano, M. H. (1977). *Análise Crítica dos Estudos de Estabilidade de Taludes de Escavação pelo Método do Equilíbrio Limite e pelo Método dos Elementos Finitos*. São Paulo: USP.

Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. (1997). *Cone Penetration Testing*. Londres: Blackie Academic & Professional.

McCulloch, W. S., & Pitts, W. H. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, (pp. 115-133).

More, J. Z. (2003). Análise Numérica do Comportamento de Cortinas Atirantadas em Solos. *Dissertação de Mestrado* . Rio de Janeiro: PUC-Rio.

Pacheco, M. P., & Danziger, F. A. (2001). O Método de Ranke-Ostermeyer para Dimensionamento de Cortinas Atirantadas: uma Extensão ao caso de Solos com

Coesão. *III COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, (pp. 525-530).

Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1953). *Foundation Engineering*. New York: John Wiley & Sons.

Potts, D. M., & Zdravkovic, L. (1999). *Finit Element Analisys in Geotechnical Engineering, Theory*. London: Thomas Telford.

Potts, D. M., & Zdravkovic, L. (2001). *Finit Element Analysis in Geotechnical Engineering, Application*. London: Thomas Telford.

Rankine, W. J. (1867). *A Manual of Civil Engineering*. London: Charles Griffin and Company.

Riedmiller, M., & Braun, H. (1993). A direct adaptive method for faster backpropagation learning. *IEEE International Conference on Neural Networks*, (pp. 234-241). San Francisco.

Rosenblueth, E. (1975). Point Estimates dor Probability Moments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* .

Sandroni, S. S. (1991). Young Metamorphic Residual Soils. *Proceedings 9th Panamerican CSMFE, Viña del Mar* , pp. 1771-1788.

Sarma, S. (1973). Stability Analysis of Embrankment and Slopes. *Geotechnique* 23, No 3 , 423-433.

Schweiger, H. F. (1998). Results from two Geotechnical Benchmark Problems. *Proc. 4th. European Conf. Num. Meth. Geotech. Eng.* (pp. 645-654). A. Cividini.

Sherif, G., & Konig, G. (1975). *Raft and beams on compressible subsoil*. Berlin: Sringer Verlag.

Soares, M. M. (1981). *Cálculo de Paredes Diafragma Multi-Escoradas em Presença de Solos Argilosos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: COPPE-UFRJ.

Tacitano, M. (2006). Análise de Paredes de Contenção Através de Método Unidimensional Evolutivo. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Teixeira, A. H., & Godoy, N. S. (1998). *Análise, projeto e execução de fundações rasas - Fundações, teoria e prática*. (W. Hachich, F. F. Falconi, J. L. Saes, R. G. Frota, C. S. Carvalho, & S. Niyama, Eds.) São Paulo: Pini.

Terzaghi, K. (1955). Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. *Geotechnique* , 5 (1).

Velloso, D. d., & Lopes, F. d. (2010). *Fundações Volume 2: Fundações Profundas*. Rio de Janeiro-RJ: Oficina de têxtos.

Velloso, D. d., & Lopes, F. d. (1976). *Paredes Moldadas no Solo*. Rio de Janeiro: Publicações de Estacas Franki.

Winkler, E. (1868). *Die Lehre von der Elasticitaet und Festigkeit*. Prag: H. Dominicus.

Zurada, J. M. (1992). *Introduction to artificial neural systems*. New York: Wes Publishing Company.

ANEXOS

ANEXO 1:

**Resultados dos Estudos de Sensibilidade dos Coeficientes de Reação em Relação
aos Parâmetros da Seção da Cortina**

Dados do solo:
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina:
 $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 70 \text{ cm}$
 $I = 0,0286 \text{ m}^4$
 $A = 0,70 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

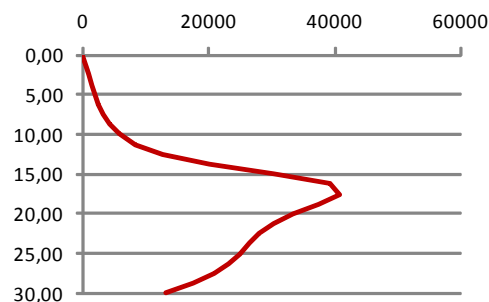
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,08179	-0,00425	1,05194	0
1,25	0,07360	0,06295	0,14479	478
2,50	0,06542	0,07308	0,11709	941
3,75	0,05724	0,06239	0,08998	1406
5,00	0,04912	0,04832	0,01630	1904
5,00	0,04912	0,04832	0,01630	1904
6,25	0,04111	0,03724	0,09411	2477
7,50	0,03331	0,02990	0,10236	3198
8,75	0,02590	0,02487	0,03979	4194
10,00	0,01910	0,02049	0,07291	5707
10,00	0,01910	0,02049	0,07291	5707
11,25	0,01320	0,01582	0,19863	8208
12,50	0,00854	0,01080	0,26524	12556
13,75	0,00531	0,00605	0,13941	19966
15,00	0,00346	0,00242	0,30225	30393
15,00	0,00346	0,00242	0,30225	30393
16,25	0,00269	0,00054	0,79947	39103
17,50	0,00259	0,00056	0,78252	40721
18,75	0,00284	0,00204	0,28312	37381
20,00	0,00322	0,00404	0,25674	33384
20,00	0,00322	0,00404	0,25674	33384
21,25	0,00358	0,00552	0,54036	30279
22,50	0,00389	0,00571	0,47004	28071
23,75	0,00411	0,00459	0,11608	26410
25,00	0,00426	0,00303	0,28930	24896
25,00	0,00426	0,00303	0,28930	24896
26,25	0,00436	0,00258	0,40760	23164
27,50	0,00442	0,00442	0,00018	20864
28,75	0,00445	0,00718	0,61350	17627
30,00	0,00448	0,00000	1,00000	13091

Ajuste de curva

x =	9	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	f(x) =	0,601145
	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13		3,752538
	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15		49,0008
	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16		928,8535
	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18		21182,53
	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19		526454,6
	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21		13665224
	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22		3,64E+08
	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22	8,71E+23		9,85E+09

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

x ⁻¹ =	-0,05009	0,057343	-0,02234	0,004181	-0,00043	2,57E-05	-8,9E-07	1,64E-08	-1,3E-10	0,601145	-0,00425
	0,057343	1,778564	-1,10749	0,258611	-0,03042	0,001987	-7,3E-05	1,42E-06	-1,1E-08	3,752538	0,091653
	-0,02234	-1,10749	0,728152	-0,17664	0,021358	-0,00142	5,33E-05	-1,1E-06	8,46E-09	49,0008	-0,03819
	0,004181	0,258611	-0,17664	0,044079	-0,00545	0,000369	-1,4E-05	2,79E-07	-2,3E-09	928,8535	0,007154
	-0,00043	-0,03042	0,021358	-0,00545	0,000684	-4,7E-05	1,8E-06	-3,6E-08	2,97E-10	21182,53	-0,00074
	2,57E-05	0,001987	-0,00142	0,000369	-4,7E-05	3,27E-06	-1,3E-07	2,56E-09	-2,1E-11	526454,6	4,46E-05
	-8,9E-07	-7,3E-05	5,33E-05	-1,4E-05	1,8E-06	-1,3E-07	4,93E-09	-1E-10	8,32E-13	13665224	-1,6E-06
	1,64E-08	1,42E-06	-1,1E-06	2,79E-07	-3,6E-08	2,56E-09	-1E-10	2,06E-12	-1,7E-14	3,64E+08	2,9E-08
	-1,3E-10	-1,1E-08	8,46E-09	-2,3E-09	2,97E-10	-2,1E-11	8,32E-13	-1,7E-14	1,43E-16	9,85E+09	-2,2E-10



Dados do solo: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina: $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

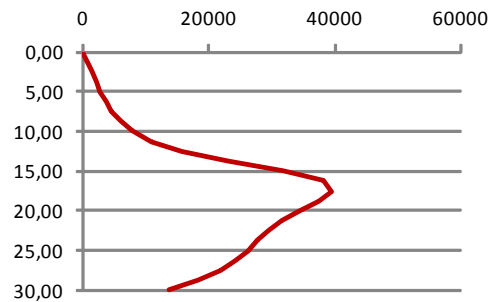
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,05679	-0,00295	1,05194	0
1,25	0,05125	0,04386	0,14410	713
2,50	0,04571	0,05103	0,11636	1397
3,75	0,04018	0,04375	0,08878	2080
5,00	0,03468	0,03412	0,01625	2800
5,00	0,03468	0,03412	0,01625	2800
6,25	0,02925	0,02657	0,09174	3614
7,50	0,02397	0,02161	0,09827	4616
8,75	0,01893	0,01823	0,03706	5959
10,00	0,01429	0,01526	0,06800	7918
10,00	0,01429	0,01526	0,06800	7918
11,25	0,01025	0,01206	0,17666	10971
12,50	0,00703	0,00859	0,22076	15819
13,75	0,00478	0,00528	0,10407	23047
15,00	0,00345	0,00272	0,21119	31690
15,00	0,00345	0,00272	0,21119	31690
16,25	0,00286	0,00139	0,51572	38121
17,50	0,00277	0,00138	0,50054	39534
18,75	0,00295	0,00241	0,18514	37337
20,00	0,00326	0,00382	0,17485	34234
20,00	0,00326	0,00382	0,17485	34234
21,25	0,00357	0,00490	0,37207	31523
22,50	0,00385	0,00510	0,32557	29408
23,75	0,00407	0,00440	0,08042	27695
25,00	0,00423	0,00338	0,20061	26073
25,00	0,00423	0,00338	0,20061	26073
26,25	0,00434	0,00311	0,28210	24209
27,50	0,00441	0,00440	0,00023	21759
28,75	0,00445	0,00633	0,42263	18356
30,00	0,00449	0,00000	1,00000	13635

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,445699 \\ 3,110942 \\ 44,74056 \\ 894,5828 \\ 20859,69 \\ 522797,2 \\ 13612621 \\ 3,63E+08 \\ 9,83E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,445699 \\ 3,110942 \\ 44,74056 \\ 894,5828 \\ 20859,69 \\ 522797,2 \\ 13612621 \\ 3,63E+08 \\ 9,83E+09 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,00295 \\ 0,063787 \\ -0,02654 \\ 0,004975 \\ -0,00051 \\ 3,1E-05 \\ -1,1E-06 \\ 2,02E-08 \\ -1,6E-10 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina:
 $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 90 \text{ cm}$
 $I = 0,0608 \text{ m}^4$
 $A = 0,90 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

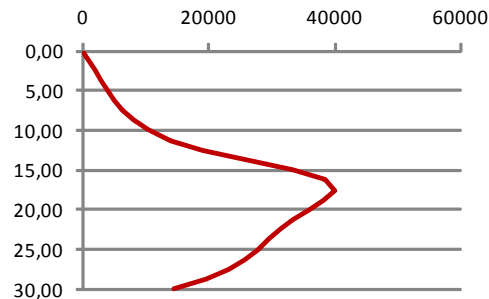
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,04211	-0,00219	1,05193	0
1,25	0,03812	0,03265	0,14340	1014
2,50	0,03412	0,03807	0,11558	1980
3,75	0,03014	0,03277	0,08754	2934
5,00	0,02617	0,02575	0,01616	3926
5,00	0,02617	0,02575	0,01616	3926
6,25	0,02225	0,02027	0,08930	5026
7,50	0,01844	0,01670	0,09422	6347
8,75	0,01480	0,01429	0,03455	8063
10,00	0,01145	0,01217	0,06316	10461
10,00	0,01145	0,01217	0,06316	10461
11,25	0,00850	0,00984	0,15714	13991
12,50	0,00615	0,00729	0,18548	19159
13,75	0,00447	0,00483	0,08039	26076
15,00	0,00346	0,00292	0,15629	33449
15,00	0,00346	0,00292	0,15629	33449
16,25	0,00299	0,00191	0,36260	38570
17,50	0,00290	0,00189	0,34950	39850
18,75	0,00305	0,00265	0,13089	38300
20,00	0,00329	0,00371	0,12740	35783
20,00	0,00329	0,00371	0,12740	35783
21,25	0,00357	0,00455	0,27355	33365
22,50	0,00382	0,00474	0,24075	31322
23,75	0,00403	0,00427	0,05951	29553
25,00	0,00420	0,00357	0,14874	27807
25,00	0,00420	0,00357	0,14874	27807
26,25	0,00431	0,00341	0,20875	25775
27,50	0,00439	0,00439	0,00020	23119
28,75	0,00445	0,00584	0,31116	19468
30,00	0,00450	0,00000	1,00000	14455

Ajuste de curva

$x =$	9	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	$f(x) =$	0,35426
	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13		2,733901
	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15		42,2467
	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16		874,5989
	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18		20670,77
	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19		520609,4
	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21		13579925
	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22		3,62E+08
	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22	8,71E+23		9,82E+09

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$x^{-1} =$	-0,05009	0,057343	-0,02234	0,004181	-0,00043	2,57E-05	-8,9E-07	1,64E-08	-1,3E-10	0,35426	-0,00219
	0,057343	1,778564	-1,10749	0,258611	-0,03042	0,001987	-7,3E-05	1,42E-06	-1,1E-08	2,733901	0,047426
	-0,02234	-1,10749	0,728152	-0,17664	0,021358	-0,00142	5,33E-05	-1,1E-06	8,46E-09	42,2467	-0,01971
	0,004181	0,258611	-0,17664	0,044079	-0,00545	0,000369	-1,4E-05	2,79E-07	-2,3E-09	874,5989	0,003696
	-0,00043	-0,03042	0,021358	-0,00545	0,000684	-4,7E-05	1,8E-06	-3,6E-08	2,97E-10	20670,77	-0,00038
	2,57E-05	0,001987	-0,00142	0,000369	-4,7E-05	3,27E-06	-1,3E-07	2,56E-09	-2,1E-11	520609,4	2,3E-05
	-8,9E-07	-7,3E-05	5,33E-05	-1,4E-05	1,8E-06	-1,3E-07	4,93E-09	-1E-10	8,32E-13	13579925	-8E-07
	1,64E-08	1,42E-06	-1,1E-06	2,79E-07	-3,6E-08	2,56E-09	-1E-10	2,06E-12	-1,7E-14	3,62E+08	1,5E-08
	-1,3E-10	-1,1E-08	8,46E-09	-2,3E-09	2,97E-10	-2,1E-11	8,32E-13	-1,7E-14	1,43E-16	9,82E+09	-1,2E-10



Dados do solo:
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina:
 $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 100 \text{ cm}$
 $I = 0,0833 \text{ m}^4$
 $A = 1,00 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

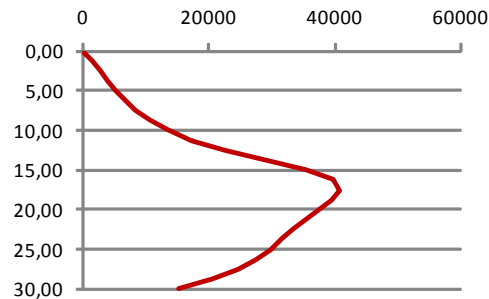
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,03244	-0,00168	1,05193	0
1,25	0,02945	0,02525	0,14274	1387
2,50	0,02647	0,02951	0,11476	2699
3,75	0,02349	0,02552	0,08630	3980
5,00	0,02053	0,02020	0,01601	5292
5,00	0,02053	0,02020	0,01601	5292
6,25	0,01760	0,01608	0,08682	6721
7,50	0,01475	0,01342	0,09035	8391
8,75	0,01203	0,01164	0,03237	10492
10,00	0,00952	0,01007	0,05862	13312
10,00	0,00952	0,01007	0,05862	13312
11,25	0,00730	0,00833	0,14057	17242
12,50	0,00551	0,00639	0,15813	22588
13,75	0,00423	0,00450	0,06412	29113
15,00	0,00345	0,00303	0,12078	35450
15,00	0,00345	0,00303	0,12078	35450
16,25	0,00308	0,00225	0,26959	39607
17,50	0,00301	0,00223	0,25767	40700
18,75	0,00312	0,00282	0,09699	39530
20,00	0,00333	0,00365	0,09681	37438
20,00	0,00333	0,00365	0,09681	37438
21,25	0,00357	0,00432	0,20917	35275
22,50	0,00380	0,00450	0,18503	33319
23,75	0,00400	0,00418	0,04571	31519
25,00	0,00416	0,00368	0,11483	29663
25,00	0,00416	0,00368	0,11483	29663
26,25	0,00428	0,00359	0,16081	27463
27,50	0,00437	0,00437	0,00010	24586
28,75	0,00444	0,00550	0,23861	20667
30,00	0,00451	0,00000	1,00000	15335

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,293453 \\ 2,479855 \\ 40,52424 \\ 859,9444 \\ 20512,41 \\ 518314,1 \\ 13535895 \\ 3,61E+08 \\ 9,79E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,293453 \\ 2,479855 \\ 40,52424 \\ 859,9444 \\ 20512,41 \\ 518314,1 \\ 13535895 \\ 3,61E+08 \\ 9,79E+09 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,00168 \\ 0,036619 \\ -0,01519 \\ 0,002849 \\ -0,00029 \\ 1,78E-05 \\ -6,2E-07 \\ 1,15E-08 \\ -8,9E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina: $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 120 \text{ cm}$
 $I = 0,1440 \text{ m}^4$
 $A = 1,20 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

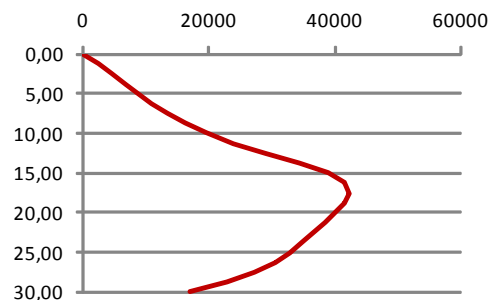
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,02058	-0,00107	1,05192	0
1,25	0,01883	0,01617	0,14142	2380
2,50	0,01708	0,01901	0,11289	4588
3,75	0,01533	0,01661	0,08372	6691
5,00	0,01359	0,01338	0,01554	8771
5,00	0,01359	0,01338	0,01554	8771
6,25	0,01187	0,01090	0,08165	10936
7,50	0,01019	0,00935	0,08262	13327
8,75	0,00859	0,00835	0,02823	16132
10,00	0,00710	0,00746	0,05020	19584
10,00	0,00710	0,00746	0,05020	19584
11,25	0,00578	0,00643	0,11222	23897
12,50	0,00471	0,00526	0,11601	29015
13,75	0,00394	0,00410	0,04208	34363
15,00	0,00345	0,00319	0,07692	38868
15,00	0,00345	0,00319	0,07692	38868
16,25	0,00322	0,00270	0,16199	41572
17,50	0,00318	0,00269	0,15235	42288
18,75	0,00326	0,00307	0,05736	41541
20,00	0,00341	0,00362	0,05972	40064
20,00	0,00341	0,00362	0,05972	40064
21,25	0,00360	0,00407	0,13002	38366
22,50	0,00379	0,00423	0,11600	36646
23,75	0,00397	0,00408	0,02860	34878
25,00	0,00412	0,00382	0,07287	32893
25,00	0,00412	0,00382	0,07287	32893
26,25	0,00424	0,00381	0,10170	30433
27,50	0,00435	0,00435	0,00008	27185
28,75	0,00444	0,00510	0,15000	22796
30,00	0,00452	0,00000	1,00000	16905

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,218812 \\ 2,170669 \\ 38,49009 \\ 843,8399 \\ 20359,76 \\ 516416,8 \\ 13502504 \\ 3,6E+08 \\ 9,77E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,218812 \\ 2,170669 \\ 38,49009 \\ 843,8399 \\ 20359,76 \\ 516416,8 \\ 13502504 \\ 3,6E+08 \\ 9,77E+09 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,00107 \\ 0,023359 \\ -0,00965 \\ 0,00181 \\ -0,00019 \\ 1,13E-05 \\ -3,9E-07 \\ 7,3E-09 \\ -5,6E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina: $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 140 \text{ cm}$
 $I = 0,2287 \text{ m}^4$
 $A = 1,40 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

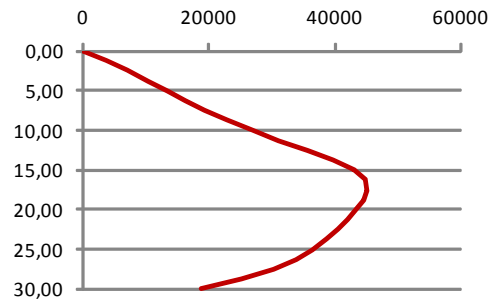
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,01431	-0,00074	1,05192	0
1,25	0,01320	0,01135	0,14012	3745
2,50	0,01209	0,01343	0,11089	7149
3,75	0,01099	0,01188	0,08113	10301
5,00	0,00988	0,00974	0,01500	13307
5,00	0,00988	0,00974	0,01500	13307
6,25	0,00879	0,00812	0,07666	16289
7,50	0,00773	0,00715	0,07554	19392
8,75	0,00671	0,00655	0,02475	22782
10,00	0,00577	0,00602	0,04323	26613
10,00	0,00577	0,00602	0,04323	26613
11,25	0,00493	0,00538	0,09131	30947
12,50	0,00425	0,00462	0,08867	35531
13,75	0,00375	0,00387	0,02975	39779
15,00	0,00345	0,00326	0,05380	42986
15,00	0,00345	0,00326	0,05380	42986
16,25	0,00330	0,00294	0,10905	44745
17,50	0,00328	0,00295	0,10119	45122
18,75	0,00335	0,00323	0,03790	44505
20,00	0,00348	0,00362	0,04065	43338
20,00	0,00348	0,00362	0,04065	43338
21,25	0,00364	0,00396	0,08873	41923
22,50	0,00380	0,00410	0,07962	40369
23,75	0,00395	0,00403	0,01957	38626
25,00	0,00409	0,00389	0,05060	36524
25,00	0,00409	0,00389	0,05060	36524
26,25	0,00422	0,00392	0,07046	33813
27,50	0,00433	0,00433	0,00016	30184
28,75	0,00443	0,00489	0,10365	25287
30,00	0,00452	0,00000	1,00000	18761

Ajuste de curva

x =	9	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	f(x) =	0,178923
	450	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13		2,004648
	9031,25	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15		37,40287
	203906,3	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16		835,3279
	4916123	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18		20278,57
	1,24E+08	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19		515320,4
	3,2E+09	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21		13479906
	8,46E+10	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22		3,6E+08
	2,28E+12	6,21E+13	1,71E+15	4,76E+16	1,33E+18	3,76E+19	1,07E+21	3,04E+22	8,71E+23		9,75E+09

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

x ⁻¹ =	-0,05009	0,057343	-0,02234	0,004181	-0,00043	2,57E-05	-8,9E-07	1,64E-08	-1,3E-10	0,178923	-0,00074
	0,057343	1,778564	-1,10749	0,258611	-0,03042	0,001987	-7,3E-05	1,42E-06	-1,1E-08	2,004648	0,01633
	-0,02234	-1,10749	0,728152	-0,17664	0,021358	-0,00142	5,33E-05	-1,1E-06	8,46E-09	37,40287	-0,00671
	0,004181	0,258611	-0,17664	0,044079	-0,00545	0,000369	-1,4E-05	2,79E-07	-2,3E-09	835,3279	0,001258
	-0,00043	-0,03042	0,021358	-0,00545	0,000684	-4,7E-05	1,8E-06	-3,6E-08	2,97E-10	20278,57	-0,00013
	2,57E-05	0,001987	-0,00142	0,000369	-4,7E-05	3,27E-06	-1,3E-07	2,56E-09	-2,1E-11	515320,4	7,83E-06
	-8,9E-07	-7,3E-05	5,33E-05	-1,4E-05	1,8E-06	-1,3E-07	4,93E-09	-1E-10	8,32E-13	13479906	-2,7E-07
	1,64E-08	1,42E-06	-1,1E-06	2,79E-07	-3,6E-08	2,56E-09	-1E-10	2,06E-12	-1,7E-14	3,6E+08	5,06E-09
	-1,3E-10	-1,1E-08	8,46E-09	-2,3E-09	2,97E-10	-2,1E-11	8,32E-13	-1,7E-14	1,43E-16	9,75E+09	-3,9E-11



Dados do solo: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina: $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 160 \text{ cm}$
 $I = 0,3413 \text{ m}^4$
 $A = 1,60 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

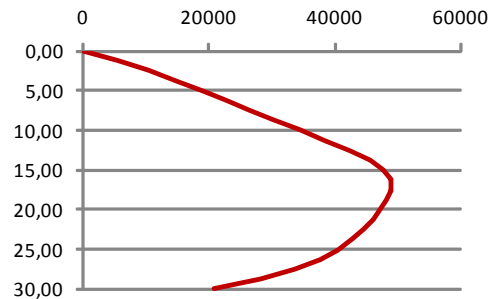
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,01063	-0,00055	1,05192	0
1,25	0,00989	0,00852	0,13880	5532
2,50	0,00916	0,01016	0,10881	10453
3,75	0,00842	0,00909	0,07855	14879
5,00	0,00769	0,00758	0,01441	18938
5,00	0,00769	0,00758	0,01441	18938
6,25	0,00697	0,00647	0,07191	22771
7,50	0,00626	0,00583	0,06915	26523
8,75	0,00559	0,00547	0,02184	30332
10,00	0,00496	0,00515	0,03752	34293
10,00	0,00496	0,00515	0,03752	34293
11,25	0,00440	0,00474	0,07578	38377
12,50	0,00396	0,00423	0,07025	42280
13,75	0,00363	0,00372	0,02229	45535
15,00	0,00344	0,00330	0,04019	47746
15,00	0,00344	0,00330	0,04019	47746
16,25	0,00336	0,00309	0,07932	48804
17,50	0,00336	0,00311	0,07283	48878
18,75	0,00343	0,00333	0,02710	48264
20,00	0,00354	0,00364	0,02970	47247
20,00	0,00354	0,00364	0,02970	47247
21,25	0,00367	0,00391	0,06486	45999
22,50	0,00381	0,00403	0,05842	44550
23,75	0,00395	0,00401	0,01432	42808
25,00	0,00408	0,00393	0,03750	40585
25,00	0,00408	0,00393	0,03750	40585
26,25	0,00420	0,00398	0,05215	37619
27,50	0,00431	0,00431	0,00019	33594
28,75	0,00442	0,00476	0,07670	28149
30,00	0,00452	0,00000	1,00000	20912

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,155382 \\ 1,906986 \\ 36,77774 \\ 830,7006 \\ 20237,9 \\ 514768,6 \\ 13466606 \\ 3,59E+08 \\ 9,74E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,155382 \\ 1,906986 \\ 36,77774 \\ 830,7006 \\ 20237,9 \\ 514768,6 \\ 13466606 \\ 3,59E+08 \\ 9,74E+09 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,00055 \\ 0,012203 \\ -0,00498 \\ 0,000935 \\ -9,7E-05 \\ 5,81E-06 \\ -2E-07 \\ 3,75E-09 \\ -2,9E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina:
 $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 180 \text{ cm}$
 $I = 0,4860 \text{ m}^4$
 $A = 1,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

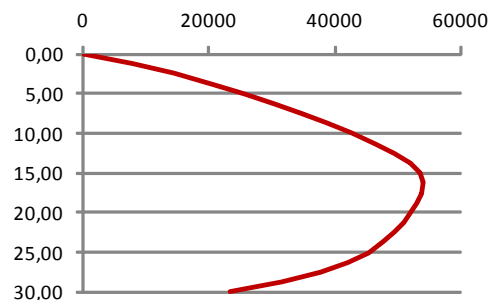
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,00834	-0,00043	1,05192	0
1,25	0,00783	0,00676	0,13743	7796
2,50	0,00733	0,00811	0,10667	14574
3,75	0,00683	0,00735	0,07598	20490
5,00	0,00633	0,00624	0,01381	25706
5,00	0,00633	0,00624	0,01381	25706
6,25	0,00583	0,00544	0,06746	30387
7,50	0,00535	0,00501	0,06347	34693
8,75	0,00488	0,00479	0,01944	38757
10,00	0,00445	0,00460	0,03289	42655
10,00	0,00445	0,00460	0,03289	42655
11,25	0,00407	0,00433	0,06419	46340
12,50	0,00377	0,00399	0,05754	49547
13,75	0,00356	0,00362	0,01757	51960
15,00	0,00343	0,00333	0,03164	53401
15,00	0,00343	0,00333	0,03164	53401
16,25	0,00339	0,00318	0,06134	53923
17,50	0,00341	0,00322	0,05590	53730
18,75	0,00348	0,00341	0,02070	53058
20,00	0,00358	0,00366	0,02299	52095
20,00	0,00358	0,00366	0,02299	52095
21,25	0,00370	0,00389	0,05023	50925
22,50	0,00383	0,00400	0,04535	49514
23,75	0,00396	0,00400	0,01110	47729
25,00	0,00408	0,00396	0,02933	45351
25,00	0,00408	0,00396	0,02933	45351
26,25	0,00419	0,00402	0,04078	42095
27,50	0,00430	0,00430	0,00019	37620
28,75	0,00441	0,00467	0,06003	31546
30,00	0,00451	0,00000	1,00000	23471

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,140719 \\ 1,846662 \\ 36,40165 \\ 828,0859 \\ 20217,07 \\ 514477,4 \\ 13458087 \\ 3,59E+08 \\ 9,73E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,140719 \\ 1,846662 \\ 36,40165 \\ 828,0859 \\ 20217,07 \\ 514477,4 \\ 13458087 \\ 3,59E+08 \\ 9,73E+09 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,00043 \\ 0,009632 \\ -0,00391 \\ 0,000733 \\ -7,6E-05 \\ 4,55E-06 \\ -1,6E-07 \\ 2,93E-09 \\ -2,3E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 100 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina: $E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 200 \text{ cm}$
 $I = 0,6667 \text{ m}^4$
 $A = 2,00 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

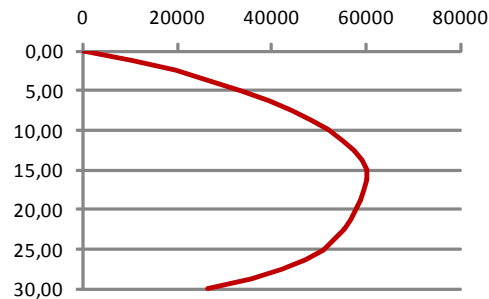
Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,00681	-0,00035	1,05192	0
1,25	0,00646	0,00558	0,13610	10583
2,50	0,00611	0,00675	0,10458	19576
3,75	0,00576	0,00618	0,07357	27196
5,00	0,00541	0,00534	0,01325	33659
5,00	0,00541	0,00534	0,01325	33659
6,25	0,00506	0,00474	0,06349	39177
7,50	0,00473	0,00445	0,05860	43948
8,75	0,00440	0,00433	0,01750	48132
10,00	0,00410	0,00422	0,02924	51828
10,00	0,00410	0,00422	0,02924	51828
11,25	0,00384	0,00406	0,05554	55023
12,50	0,00364	0,00381	0,04854	57532
13,75	0,00350	0,00355	0,01438	59185
15,00	0,00343	0,00334	0,02596	59963
15,00	0,00343	0,00334	0,02596	59963
16,25	0,00341	0,00324	0,04964	60016
17,50	0,00345	0,00329	0,04496	59558
18,75	0,00352	0,00346	0,01657	58781
20,00	0,00362	0,00368	0,01861	57806
20,00	0,00362	0,00368	0,01861	57806
21,25	0,00373	0,00388	0,04061	56650
22,50	0,00384	0,00398	0,03672	55227
23,75	0,00396	0,00400	0,00897	53359
25,00	0,00408	0,00398	0,02389	50792
25,00	0,00408	0,00398	0,02389	50792
26,25	0,00419	0,00405	0,03321	47205
27,50	0,00430	0,00430	0,00018	42226
28,75	0,00440	0,00462	0,04895	35442
30,00	0,00450	0,00000	1,00000	26413

Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 \\ 450 & 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 \\ 9031,25 & 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 \\ 203906,3 & 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 \\ 4916123 & 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 \\ 1,24E+08 & 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 \\ 3,2E+09 & 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 \\ 8,46E+10 & 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 \\ 2,28E+12 & 6,21E+13 & 1,71E+15 & 4,76E+16 & 1,33E+18 & 3,76E+19 & 1,07E+21 & 3,04E+22 & 8,71E+23 \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} 0,130887 \\ 1,806171 \\ 36,15355 \\ 826,4757 \\ 20206,56 \\ 514352,8 \\ 13453554 \\ 3,59E+08 \\ 9,72E+09 \end{bmatrix}$$

det A = -4,4E+79 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,05009 & 0,057343 & -0,02234 & 0,004181 & -0,00043 & 2,57E-05 & -8,9E-07 & 1,64E-08 & -1,3E-10 \\ 0,057343 & 1,778564 & -1,10749 & 0,258611 & -0,03042 & 0,001987 & -7,3E-05 & 1,42E-06 & -1,1E-08 \\ -0,02234 & -1,10749 & 0,728152 & -0,17664 & 0,021358 & -0,00142 & 5,33E-05 & -1,1E-06 & 8,46E-09 \\ 0,004181 & 0,258611 & -0,17664 & 0,044079 & -0,00545 & 0,000369 & -1,4E-05 & 2,79E-07 & -2,3E-09 \\ -0,00043 & -0,03042 & 0,021358 & -0,00545 & 0,000684 & -4,7E-05 & 1,8E-06 & -3,6E-08 & 2,97E-10 \\ 2,57E-05 & 0,001987 & -0,00142 & 0,000369 & -4,7E-05 & 3,27E-06 & -1,3E-07 & 2,56E-09 & -2,1E-11 \\ -8,9E-07 & -7,3E-05 & 5,33E-05 & -1,4E-05 & 1,8E-06 & -1,3E-07 & 4,93E-09 & -1E-10 & 8,32E-13 \\ 1,64E-08 & 1,42E-06 & -1,1E-06 & 2,79E-07 & -3,6E-08 & 2,56E-09 & -1E-10 & 2,06E-12 & -1,7E-14 \\ -1,3E-10 & -1,1E-08 & 8,46E-09 & -2,3E-09 & 2,97E-10 & -2,1E-11 & 8,32E-13 & -1,7E-14 & 1,43E-16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,130887 \\ 1,806171 \\ 36,15355 \\ 826,4757 \\ 20206,56 \\ 514352,8 \\ 13453554 \\ 3,59E+08 \\ 9,72E+09 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,00035 \\ 0,007918 \\ -0,00319 \\ 0,000599 \\ -6,2E-05 \\ 3,71E-06 \\ -1,3E-07 \\ 2,39E-09 \\ -1,8E-11 \end{bmatrix}$$



ANEXO 2:

**Resultados dos das Análises pelo MEF para a Obtenção dos Coeficientes de
Reação utilizados no Banco de Dados**

Dados do solo:

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 10 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,25$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 30^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,07039	-0,01434	1,20372	0
1,25	0,06521	0,04710	0,27774	283
2,50	0,06003	0,06511	0,08462	552
3,75	0,05485	0,06262	0,14165	813
5,00	0,04971	0,05297	0,06563	1072
5,00	0,04971	0,05297	0,06563	1072
6,25	0,04464	0,04301	0,03665	1336
7,50	0,03972	0,03548	0,10662	1613
8,75	0,03505	0,03083	0,12021	1910
10,00	0,03078	0,02838	0,07807	2229
10,00	0,03078	0,02838	0,07807	2229
11,25	0,02712	0,02712	0,00015	2557
12,50	0,02429	0,02622	0,07970	2858
13,75	0,02244	0,02522	0,12369	3077
15,00	0,02158	0,02402	0,11319	3173
15,00	0,02158	0,02402	0,11319	3173
16,25	0,02158	0,02287	0,05970	3144
17,50	0,02226	0,02214	0,00576	3022
18,75	0,02346	0,02221	0,05313	2851
20,00	0,02498	0,02331	0,06676	2671
20,00	0,02498	0,02331	0,06676	2671
21,25	0,02667	0,02540	0,04779	2505
22,50	0,02840	0,02812	0,00990	2365
23,75	0,03006	0,03086	0,02635	2254
25,00	0,03158	0,03280	0,03852	2169
25,00	0,03158	0,03280	0,03852	2169
26,25	0,03290	0,03311	0,00643	2106
27,50	0,03399	0,03114	0,08399	2058
28,75	0,03484	0,02658	0,23703	2019
30,00	0,03545	0,00000	1,00000	1983
30,00	0,03545	0,00000	1,00000	1983
31,25	0,03582	0,00000	1,00000	1940
32,50	0,03596	0,00000	1,00000	1883
33,75	0,03590	0,00000	1,00000	1800
35,00	0,03567	0,00000	1,00000	1679
35,00	0,03567	0,00000	1,00000	1679
36,25	0,03530	0,00000	1,00000	1506
37,50	0,03482	0,00000	1,00000	1263
38,75	0,03428	0,00000	1,00000	931
40,00	0,03371	0,00000	1,00000	490

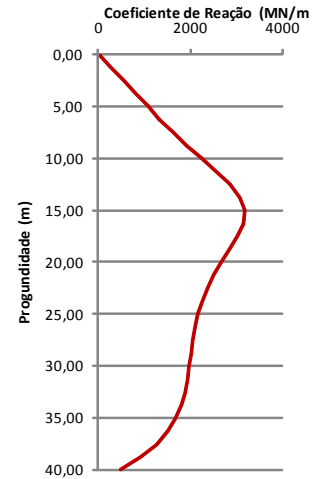
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 1,40322 \\ 13,54 \\ 270,415 \\ 6241,54 \\ 154124 \\ 3954759 \\ 1E+08 \\ 2,8E+09 \\ 7,6E+10 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0143 \\ 0,07518 \\ -0,0251 \\ 0,0038 \\ -0,0003 \\ 1,5E-05 \\ -4E-07 \\ 6,3E-09 \\ -4E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
 $E = 50 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 35^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,04024	-0,00465	1,11559	0
1,25	0,03643	0,02642	0,27489	230
2,50	0,03263	0,03519	0,07851	463
3,75	0,02883	0,03311	0,14860	707
5,00	0,02506	0,02702	0,07859	975
5,00	0,02506	0,02702	0,07859	975
6,25	0,02135	0,02060	0,03521	1285
7,50	0,01778	0,01545	0,13084	1665
8,75	0,01443	0,01197	0,17006	2151
10,00	0,01143	0,00993	0,13158	2791
10,00	0,01143	0,00993	0,13158	2791
11,25	0,00896	0,00883	0,01460	3610
12,50	0,00720	0,00822	0,14183	4510
13,75	0,00619	0,00777	0,25573	5236
15,00	0,00582	0,00731	0,25615	5527
15,00	0,00582	0,00731	0,25615	5527
16,25	0,00593	0,00686	0,15610	5381
17,50	0,00634	0,00650	0,02509	4994
18,75	0,00691	0,00638	0,07685	4555
20,00	0,00753	0,00660	0,12369	4166
20,00	0,00753	0,00660	0,12369	4166
21,25	0,00813	0,00719	0,11626	3859
22,50	0,00867	0,00805	0,07095	3633
23,75	0,00912	0,00900	0,01244	3476
25,00	0,00947	0,00976	0,03068	3373
25,00	0,00947	0,00976	0,03068	3373
26,25	0,00974	0,01004	0,03014	3311
27,50	0,00993	0,00956	0,03708	3277
28,75	0,01003	0,00820	0,18291	3260
30,00	0,01007	0,00000	1,00000	3247
30,00	0,01007	0,00000	1,00000	3247
31,25	0,01005	0,00000	1,00000	3228
32,50	0,00997	0,00000	1,00000	3189
33,75	0,00983	0,00000	1,00000	3114
35,00	0,00965	0,00000	1,00000	2984
35,00	0,00965	0,00000	1,00000	2984
36,25	0,00942	0,00000	1,00000	2776
37,50	0,00916	0,00000	1,00000	2461
38,75	0,00888	0,00000	1,00000	2002
40,00	0,00859	0,00000	1,00000	1357

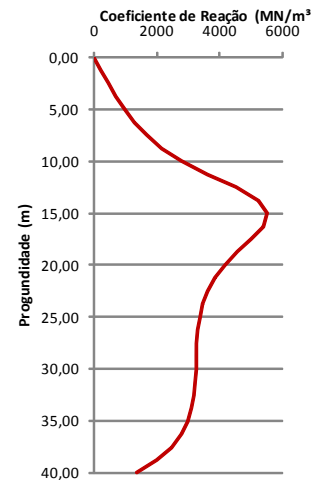
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 0,51279 \\ 4,3735 \\ 81,7784 \\ 1849,29 \\ 45340,6 \\ 1159392 \\ 3E+07 \\ 8,1E+08 \\ 2,2E+10 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0047 \\ 0,03804 \\ -0,0126 \\ 0,00185 \\ -0,0001 \\ 6,9E-06 \\ -2E-07 \\ 2,7E-09 \\ -2E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $E = 80 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,35$
 $c = 0 \text{ kPa}$
 $\phi = 37^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,04114	-0,00411	1,09979	0
1,25	0,03724	0,02709	0,27260	221
2,50	0,03333	0,03589	0,07692	445
3,75	0,02943	0,03377	0,14740	681
5,00	0,02557	0,02758	0,07885	941
5,00	0,02557	0,02758	0,07885	941
6,25	0,02177	0,02103	0,03402	1243
7,50	0,01811	0,01576	0,12978	1612
8,75	0,01468	0,01219	0,16995	2087
10,00	0,01162	0,01008	0,13280	2713
10,00	0,01162	0,01008	0,13280	2713
11,25	0,00911	0,00895	0,01758	3512
12,50	0,00731	0,00832	0,13744	4392
13,75	0,00625	0,00784	0,25443	5127
15,00	0,00581	0,00734	0,26376	5485
15,00	0,00581	0,00734	0,26376	5485
16,25	0,00581	0,00680	0,16979	5442
17,50	0,00608	0,00630	0,03583	5157
18,75	0,00649	0,00599	0,07653	4804
20,00	0,00693	0,00599	0,13566	4485
20,00	0,00693	0,00599	0,13566	4485
21,25	0,00733	0,00633	0,13694	4234
22,50	0,00768	0,00696	0,09332	4056
23,75	0,00795	0,00772	0,02875	3940
25,00	0,00815	0,00836	0,02625	3873
25,00	0,00815	0,00836	0,02625	3873
26,25	0,00828	0,00861	0,03958	3844
27,50	0,00836	0,00822	0,01653	3840
28,75	0,00839	0,00706	0,15826	3850
30,00	0,00836	0,00000	1,00000	3862
30,00	0,00836	0,00000	1,00000	3862
31,25	0,00830	0,00000	1,00000	3862
32,50	0,00820	0,00000	1,00000	3837
33,75	0,00806	0,00000	1,00000	3769
35,00	0,00788	0,00000	1,00000	3637
35,00	0,00788	0,00000	1,00000	3637
36,25	0,00767	0,00000	1,00000	3413
37,50	0,00744	0,00000	1,00000	3064
38,75	0,00719	0,00000	1,00000	2545
40,00	0,00694	0,00000	1,00000	1804

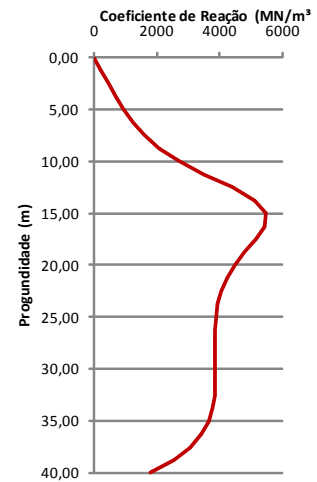
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 0,48717 \\ 4,04653 \\ 72,9459 \\ 1616,25 \\ 39157,4 \\ 993630 \\ 2,6E+07 \\ 6,9E+08 \\ 1,9E+10 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0041 \\ 0,03816 \\ -0,0126 \\ 0,00184 \\ -0,0001 \\ 6,8E-06 \\ -2E-07 \\ 2,6E-09 \\ -2E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$
 $E = 1 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,35$
 $c = 10 \text{ kPa}$
 $\phi = 0^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,56458	-0,19673	1,34846	0
1,25	0,57006	0,41937	0,26433	348
2,50	0,57550	0,62550	0,08689	618
3,75	0,58083	0,64634	0,11278	822
5,00	0,58593	0,60804	0,03773	971
5,00	0,58593	0,60804	0,03773	971
6,25	0,59068	0,57163	0,03225	1075
7,50	0,59495	0,55815	0,06184	1143
8,75	0,59863	0,56689	0,05301	1184
10,00	0,60164	0,58785	0,02293	1203
10,00	0,60164	0,58785	0,02293	1203
11,25	0,60396	0,60971	0,00951	1208
12,50	0,60560	0,62419	0,03069	1203
13,75	0,60656	0,62771	0,03488	1193
15,00	0,60683	0,62127	0,02380	1180
15,00	0,60683	0,62127	0,02380	1180
16,25	0,60643	0,60910	0,00441	1169
17,50	0,60535	0,59680	0,01412	1161
18,75	0,60360	0,58935	0,02360	1157
20,00	0,60118	0,58950	0,01943	1160
20,00	0,60118	0,58950	0,01943	1160
21,25	0,59811	0,59667	0,00241	1169
22,50	0,59439	0,60664	0,02060	1185
23,75	0,59005	0,61209	0,03735	1206
25,00	0,58511	0,60388	0,03208	1231
25,00	0,58511	0,60388	0,03208	1231
26,25	0,57960	0,57302	0,01135	1258
27,50	0,57354	0,51299	0,10558	1285
28,75	0,56699	0,42217	0,25542	1307
30,00	0,55999	0,00000	1,00000	1320
30,00	0,55999	0,00000	1,00000	1320
31,25	0,55258	0,00000	1,00000	1318
32,50	0,54481	0,00000	1,00000	1295
33,75	0,53675	0,00000	1,00000	1243
35,00	0,52844	0,00000	1,00000	1153
35,00	0,52844	0,00000	1,00000	1153
36,25	0,51995	0,00000	1,00000	1014
37,50	0,51133	0,00000	1,00000	815
38,75	0,50263	0,00000	1,00000	541
40,00	0,49390	0,00000	1,00000	177

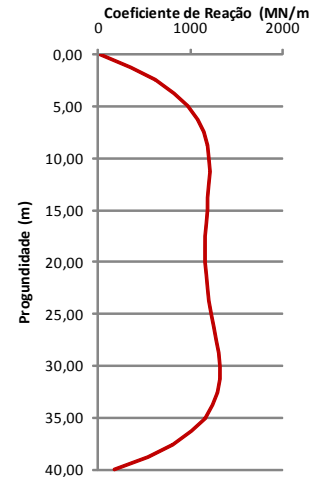
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 23,0096 \\ 265,776 \\ 5303,11 \\ 119051 \\ 2856145 \\ 7,2E+07 \\ 1,8E+09 \\ 4,9E+10 \\ 1,3E+12 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,1967 \\ 0,74311 \\ -0,2432 \\ 0,03833 \\ -0,0033 \\ 0,00016 \\ -5E-06 \\ 7,1E-08 \\ -4E-10 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$
 $E = 2 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,35$
 $c = 20 \text{ kPa}$
 $\phi = 0^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,19037	-0,09239	1,48533	0
1,25	0,20084	0,14772	0,26452	406
2,50	0,21127	0,23098	0,09329	690
3,75	0,22153	0,24497	0,10579	882
5,00	0,23147	0,23797	0,02811	1004
5,00	0,23147	0,23797	0,02811	1004
6,25	0,24090	0,23262	0,03439	1075
7,50	0,24970	0,23604	0,05470	1108
8,75	0,25773	0,24717	0,04098	1117
10,00	0,26495	0,26173	0,01219	1108
10,00	0,26495	0,26173	0,01219	1108
11,25	0,27138	0,27525	0,01426	1088
12,50	0,27705	0,28476	0,02784	1063
13,75	0,28197	0,28928	0,02595	1036
15,00	0,28612	0,28966	0,01237	1009
15,00	0,28612	0,28966	0,01237	1009
16,25	0,28950	0,28793	0,00542	987
17,50	0,29211	0,28651	0,01916	969
18,75	0,29393	0,28733	0,02246	958
20,00	0,29499	0,29121	0,01280	954
20,00	0,29499	0,29121	0,01280	954
21,25	0,29528	0,29744	0,00730	957
22,50	0,29484	0,30372	0,03012	967
23,75	0,29368	0,30648	0,04358	982
25,00	0,29183	0,30149	0,03311	1002
25,00	0,29183	0,30149	0,03311	1002
26,25	0,28932	0,28478	0,01568	1024
27,50	0,28619	0,25370	0,11354	1047
28,75	0,28248	0,20793	0,26392	1066
30,00	0,27823	0,00000	1,00000	1078
30,00	0,27823	0,00000	1,00000	1078
31,25	0,27349	0,00000	1,00000	1078
32,50	0,26831	0,00000	1,00000	1059
33,75	0,26275	0,00000	1,00000	1015
35,00	0,25687	0,00000	1,00000	937
35,00	0,25687	0,00000	1,00000	937
36,25	0,25074	0,00000	1,00000	813
37,50	0,24442	0,00000	1,00000	632
38,75	0,23800	0,00000	1,00000	378
40,00	0,23153	0,00000	1,00000	36

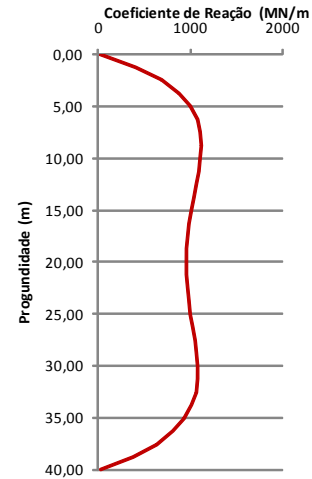
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 10,5982 \\ 127,369 \\ 2590,16 \\ 58652,8 \\ 1413389 \\ 3,5E+07 \\ 9,2E+08 \\ 2,4E+10 \\ 6,5E+11 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0924 \\ 0,28873 \\ -0,0943 \\ 0,01518 \\ -0,0013 \\ 6,8E-05 \\ -2E-06 \\ 3E-08 \\ -2E-10 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
 $E = 5 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,35$
 $c = 40 \text{ kPa}$
 $\phi = 0^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,07337	-0,04243	1,57823	0
1,25	0,08064	0,05954	0,26167	437
2,50	0,08787	0,09621	0,09497	717
3,75	0,09494	0,10434	0,09902	888
5,00	0,10169	0,10396	0,02229	985
5,00	0,10169	0,10396	0,02229	985
6,25	0,10800	0,10431	0,03419	1032
7,50	0,11375	0,10813	0,04938	1046
8,75	0,11885	0,11480	0,03406	1040
10,00	0,12330	0,12244	0,00696	1021
10,00	0,12330	0,12244	0,00696	1021
11,25	0,12718	0,12920	0,01591	995
12,50	0,13054	0,13390	0,02579	966
13,75	0,13339	0,13626	0,02147	937
15,00	0,13575	0,13675	0,00734	910
15,00	0,13575	0,13675	0,00734	910
16,25	0,13764	0,13636	0,00927	888
17,50	0,13905	0,13616	0,02076	871
18,75	0,14001	0,13699	0,02157	860
20,00	0,14054	0,13914	0,00995	857
20,00	0,14054	0,13914	0,00995	857
21,25	0,14065	0,14221	0,01105	860
22,50	0,14036	0,14507	0,03353	870
23,75	0,13970	0,14607	0,04560	885
25,00	0,13867	0,14327	0,03318	905
25,00	0,13867	0,14327	0,03318	905
26,25	0,13729	0,13489	0,01747	927
27,50	0,13559	0,11980	0,11647	949
28,75	0,13358	0,09793	0,26686	968
30,00	0,13128	0,00000	1,00000	980
30,00	0,13128	0,00000	1,00000	980
31,25	0,12870	0,00000	1,00000	981
32,50	0,12588	0,00000	1,00000	965
33,75	0,12284	0,00000	1,00000	924
35,00	0,11961	0,00000	1,00000	850
35,00	0,11961	0,00000	1,00000	850
36,25	0,11622	0,00000	1,00000	732
37,50	0,11271	0,00000	1,00000	557
38,75	0,10913	0,00000	1,00000	310
40,00	0,10552	0,00000	1,00000	-26

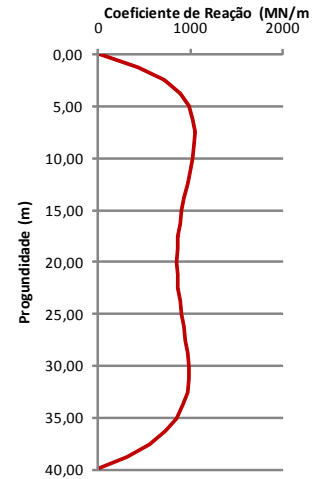
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 4,91508 \\ 60,1231 \\ 1227,26 \\ 27814,3 \\ 670253 \\ 1,7E+07 \\ 4,3E+08 \\ 1,1E+10 \\ 3,1E+11 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0424 \\ 0,12199 \\ -0,0395 \\ 0,00643 \\ -0,0006 \\ 2,9E-05 \\ -9E-07 \\ 1,3E-08 \\ -8E-11 \end{bmatrix}$$



Dados do solo:

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E = 8 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,35$
 $c = 100 \text{ kPa}$
 $\phi = 0^\circ$

Dados da cortina:

$E = 210 \text{ GPa}$
 $e = 80 \text{ cm}$
 $I = 0,0427 \text{ m}^4$
 $A = 0,80 \text{ m}^2$

$$k = \frac{1}{y} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$$

Resultado da Análise em MEF

Prof (m)	Ux (m)	U'x (m)	e (%)	k (MN/m³)
0,00	0,04732	-0,03010	1,63615	0
1,25	0,05356	0,03968	0,25921	451
2,50	0,05975	0,06543	0,09506	723
3,75	0,06575	0,07197	0,09468	879
5,00	0,07142	0,07280	0,01931	961
5,00	0,07142	0,07280	0,01931	961
6,25	0,07664	0,07406	0,03371	996
7,50	0,08128	0,07750	0,04650	1002
8,75	0,08531	0,08268	0,03074	991
10,00	0,08871	0,08831	0,00460	970
10,00	0,08871	0,08831	0,00460	970
11,25	0,09161	0,09313	0,01663	944
12,50	0,09407	0,09642	0,02490	916
13,75	0,09614	0,09802	0,01956	887
15,00	0,09782	0,09832	0,00518	862
15,00	0,09782	0,09832	0,00518	862
16,25	0,09913	0,09805	0,01097	841
17,50	0,10010	0,09795	0,02155	825
18,75	0,10074	0,09859	0,02131	816
20,00	0,10107	0,10017	0,00883	814
20,00	0,10107	0,10017	0,00883	814
21,25	0,10109	0,10237	0,01264	817
22,50	0,10084	0,10438	0,03509	827
23,75	0,10032	0,10500	0,04666	843
25,00	0,09954	0,10286	0,03341	862
25,00	0,09954	0,10286	0,03341	862
26,25	0,09852	0,09673	0,01813	883
27,50	0,09726	0,08581	0,11777	905
28,75	0,09578	0,07008	0,26835	924
30,00	0,09409	0,00000	1,00000	936
30,00	0,09409	0,00000	1,00000	936
31,25	0,09219	0,00000	1,00000	936
32,50	0,09010	0,00000	1,00000	920
33,75	0,08784	0,00000	1,00000	880
35,00	0,08543	0,00000	1,00000	807
35,00	0,08543	0,00000	1,00000	807
36,25	0,08289	0,00000	1,00000	691
37,50	0,08025	0,00000	1,00000	520
38,75	0,07755	0,00000	1,00000	276
40,00	0,07482	0,00000	1,00000	-57

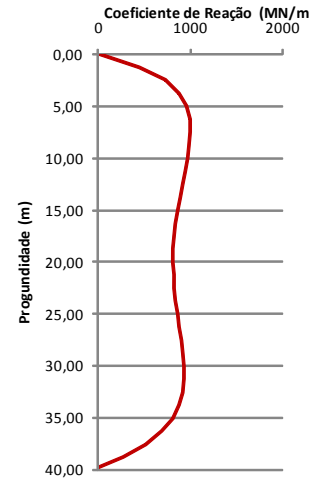
Ajuste de curva

$$x = \begin{bmatrix} 9 & 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 \\ 800 & 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 \\ 21375 & 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 \\ 642500 & 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 \\ 2,1E+07 & 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 \\ 6,9E+08 & 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 \\ 2,4E+10 & 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 \\ 8,3E+11 & 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 \\ 3E+13 & 1,1E+15 & 3,9E+16 & 1,5E+18 & 5,4E+19 & 2E+21 & 7,6E+22 & 2,9E+24 & 1,1E+26 \end{bmatrix}$$

det A = -5E+89 Matriz invertível !

$$x^{-1} = \begin{bmatrix} -0,0334 & 0,03022 & -0,0092 & 0,00133 & -0,0001 & 4,8E-06 & -1E-07 & 1,8E-09 & -1E-11 \\ 0,03022 & 0,76888 & -0,368 & 0,06555 & -0,0059 & 0,00029 & -8E-06 & 1,2E-07 & -7E-10 \\ -0,0092 & -0,368 & 0,18526 & -0,0341 & 0,00313 & -0,0002 & 4,5E-06 & -7E-08 & 4E-10 \\ 0,00133 & 0,06555 & -0,0341 & 0,00645 & -0,0006 & 3,1E-05 & -9E-07 & 1,3E-08 & -8E-11 \\ -0,0001 & -0,0059 & 0,00313 & -0,0006 & 5,7E-05 & -3E-06 & 8,5E-08 & -1E-09 & 7,9E-12 \\ 4,8E-06 & 0,00029 & -0,0002 & 3,1E-05 & -3E-06 & 1,5E-07 & -4E-09 & 6,8E-11 & -4E-13 \\ -1E-07 & -8E-06 & 4,5E-06 & -9E-07 & 8,5E-08 & -4E-09 & 1,3E-10 & -2E-12 & 1,3E-14 \\ 1,8E-09 & 1,2E-07 & -7E-08 & 1,3E-08 & -1E-09 & 6,8E-11 & -2E-12 & 3,1E-14 & -2E-16 \\ -1E-11 & -7E-10 & 4E-10 & -8E-11 & 7,9E-12 & -4E-13 & 1,3E-14 & -2E-16 & 1,2E-18 \end{bmatrix}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} 3,50701 \\ 43,1573 \\ 881,376 \\ 19971,6 \\ 481139 \\ 1,2E+07 \\ 3,1E+08 \\ 8,2E+09 \\ 2,2E+11 \end{bmatrix} \quad [x^{-1}] \cdot [f(x)] = \begin{bmatrix} -0,0301 \\ 0,08313 \\ -0,0267 \\ 0,00436 \\ -0,0004 \\ 2E-05 \\ -6E-07 \\ 9,1E-09 \\ -6E-11 \end{bmatrix}$$



ANEXO 3:

Banco de dados utilizado na modelagem da Rede Neural

Média e Desvio Padrão do Banco de Dados Completo

	Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	σ'_h	K
Média	0,152	20,00	17,1429	24,2857	14,5714	22,2857	0,4086	112,1	1740,4
Desv. Padrão	0,991	11,21	1,8112	33,8238	16,9748	28,3937	0,0980	100,7	1300,0

Banco de Dados Completo Normalizado

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	σ'_h	K
-1,16294	-1,67318	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-1,10014	-1,12135
-1,16294	-1,56164	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-1,07308	-0,91428
-1,16294	-1,45009	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-1,02636	-0,71356
-1,16294	-1,33855	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,95182	-0,51438
-1,16294	-1,227	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,8653	-0,31116
-1,16294	-1,11545	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,75759	-0,09786
-1,16294	-1,00391	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,6354	0,130667
-1,16294	-0,89236	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,48125	0,375713
-1,16294	-0,78082	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,68258	0,628119
-1,16294	-0,66927	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,99147	0,859325
-1,16294	-0,55773	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,86743	1,028112
-1,16294	-0,44618	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,44281	1,102158
-1,16294	-0,33464	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,16609	1,079725
-1,16294	-0,22309	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	0,156952	0,985617
-1,16294	-0,11155	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	0,476873	0,854384
-1,16294	0	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	0,797352	0,71569
-1,16294	0,111545	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,126377	0,588276
-1,16294	0,223091	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,456205	0,480758
-1,16294	0,334636	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,755	0,395132
-1,16294	0,446182	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,004861	0,329698
-1,16294	0,557727	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,166293	0,280865
-1,16294	0,669273	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,284073	0,244131
-1,16294	0,780818	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,352717	0,214496
-1,16294	0,892364	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,372886	0,18646
-1,16294	1,003909	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,347249	0,153884
-1,16294	1,115455	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,271434	0,109775
-1,16294	1,227	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,144325	0,046003
-1,16294	1,338546	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,965224	-0,04699
-1,16294	1,450091	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,70756	-0,18041
-1,16294	1,561637	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,390428	-0,36731
-1,16294	1,673182	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,047534	-0,62251
-1,16294	-1,67318	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-1,10051	-1,16208
-1,16294	-1,56164	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-1,07138	-0,98302

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
-1,16294	-1,45009	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-1,01834	-0,79505
-1,16294	-1,33855	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,932	-0,58868
-1,16294	-1,227	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,85672	-0,34997
-1,16294	-1,11545	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,74867	-0,05841
-1,16294	-1,00391	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,60823	0,315504
-1,16294	-0,89236	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,44201	0,808318
-1,16294	-0,78082	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,65377	1,437834
-1,16294	-0,66927	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,9399	2,130467
-1,16294	-0,55773	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,95219	2,688584
-1,16294	-0,44618	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,52753	2,912468
-1,16294	-0,33464	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,31653	2,800531
-1,16294	-0,22309	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,02337	2,502634
-1,16294	-0,11155	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	0,274167	2,164858
-1,16294	0	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	0,58013	1,865529
-1,16294	0,111545	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	0,920099	1,629531
-1,16294	0,223091	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,275636	1,455806
-1,16294	0,334636	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,61397	1,334944
-1,16294	0,446182	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,91317	1,255854
-1,16294	0,557727	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,088845	1,208052
-1,16294	0,669273	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,223164	1,181937
-1,16294	0,780818	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,304218	1,168587
-1,16294	0,892364	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,33314	1,159181
-1,16294	1,003909	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,31583	1,144466
-1,16294	1,115455	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,247187	1,114209
-1,16294	1,227	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,127029	1,056441
-1,16294	1,338546	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,954789	0,956654
-1,16294	1,450091	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,7026	0,796922
-1,16294	1,561637	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,395554	0,554594
-1,16294	1,673182	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,070386	0,201519
-1,16294	-1,67318	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-1,10253	-1,16885
-1,16294	-1,56164	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-1,06512	-0,99625
-1,16294	-1,45009	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-1,00329	-0,8146
-1,16294	-1,33855	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,92523	-0,61461
-1,16294	-1,227	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,83304	-0,38264
-1,16294	-1,11545	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,71098	-0,09861
-1,16294	-1,00391	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,55227	0,266452
-1,16294	-0,89236	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,37514	0,748189
-1,16294	-0,78082	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,61099	1,362364
-1,16294	-0,66927	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,82538	2,039652
-1,16294	-0,55773	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-1,05911	2,605183
-1,16294	-0,44618	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,81024	2,880572
-1,16294	-0,33464	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,64576	2,847022
-1,16294	-0,22309	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,39695	2,628066

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
-1,16294	-0,11155	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,14013	2,356832
-1,16294	0	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	0,130295	2,110874
-1,16294	0,111545	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	0,436172	1,918162
-1,16294	0,223091	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	0,776799	1,780862
-1,16294	0,334636	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,151547	1,691671
-1,16294	0,446182	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,557546	1,640659
-1,16294	0,557727	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,736663	1,618281
-1,16294	0,669273	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,897653	1,615334
-1,16294	0,780818	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	2,000773	1,622919
-1,16294	0,892364	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	2,047857	1,631896
-1,16294	1,003909	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	2,049498	1,632352
-1,16294	1,115455	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,999827	1,613067
-1,16294	1,227	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,900158	1,560694
-1,16294	1,338546	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,750144	1,458821
-1,16294	1,450091	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,522693	1,286872
-1,16294	1,561637	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,248694	1,018165
0,855925	1,673182	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	0,966114	0,618839
0,855925	-1,67318	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,98984	-1,07111
0,855925	-1,56164	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,87152	-0,86351
0,855925	-1,45009	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,76231	-0,70669
0,855925	-1,33855	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,66251	-0,59212
0,855925	-1,227	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,53001	-0,51204
0,855925	-1,11545	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,40719	-0,45949
0,855925	-1,00391	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,28488	-0,42831
0,855925	-0,89236	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,16316	-0,41313
0,855925	-0,78082	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,16465	-0,40939
0,855925	-0,66927	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,16639	-0,4132
0,855925	-0,55773	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,16873	-0,42126
0,855925	-0,44618	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,17207	-0,43081
0,855925	-0,33464	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,18226	-0,43963
0,855925	-0,22309	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,1957	-0,44595
0,855925	-0,11155	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,21337	-0,44848
0,855925	0	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,23509	-0,44641
0,855925	0,111545	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,25829	-0,43936
0,855925	0,223091	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,28409	-0,42743
0,855925	0,334636	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,312	-0,4112
0,855925	0,446182	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,342	-0,39176
0,855925	0,557727	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,37415	-0,37072
0,855925	0,669273	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,40835	-0,3503
0,855925	0,780818	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,44467	-0,33334
0,855925	0,892364	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,48313	-0,32335
0,855925	1,003909	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,52429	-0,32462
0,855925	1,115455	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,56862	-0,34226

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
0,855925	1,227	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,61658	-0,3823
0,855925	1,338546	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,6683	-0,45173
0,855925	1,450091	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,72884	-0,55864
0,855925	1,561637	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,79163	-0,71225
0,855925	1,673182	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,84668	-0,92302
0,855925	-1,67318	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,88067	-1,02661
0,855925	-1,56164	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,67549	-0,80778
0,855925	-1,45009	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,48736	-0,66032
0,855925	-1,33855	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,30542	-0,56649
0,855925	-1,227	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,13056	-0,51213
0,855925	-1,11545	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,038601	-0,48611
0,855925	-1,00391	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,201469	-0,47979
0,855925	-0,89236	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,357874	-0,48661
0,855925	-0,78082	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,263306	-0,50167
0,855925	-0,66927	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,170821	-0,5212
0,855925	-0,55773	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,082474	-0,54219
0,855925	-0,44618	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,00084	-0,56227
0,855925	-0,33464	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,09337	-0,57965
0,855925	-0,22309	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,17441	-0,59304
0,855925	-0,11155	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,2475	-0,60157
0,855925	0	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,3126	-0,6048
0,855925	0,111545	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,37196	-0,60263
0,855925	0,223091	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,42666	-0,59533
0,855925	0,334636	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,47755	-0,58354
0,855925	0,446182	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,52473	-0,56831
0,855925	0,557727	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,56959	-0,55107
0,855925	0,669273	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,61204	-0,53379
0,855925	0,780818	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,65245	-0,51893
0,855925	0,892364	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,69088	-0,50961
0,855925	1,003909	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,72824	-0,50968
0,855925	1,115455	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,76435	-0,52384
0,855925	1,227	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,79944	-0,55776
0,855925	1,338546	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,83348	-0,61828
0,855925	1,450091	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,8695	-0,71348
0,855925	1,561637	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,90358	-0,85295
0,855925	1,673182	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,93121	-1,04781
0,855925	-1,67318	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,86585	-1,00282
0,855925	-1,56164	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,64819	-0,78761
0,855925	-1,45009	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,44208	-0,65599
0,855925	-1,33855	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,23814	-0,58149
0,855925	-1,227	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,04291	-0,54528
0,855925	-1,11545	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,148756	-0,53414
0,855925	-1,00391	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,334798	-0,53887

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
0,855925	-0,89236	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,514937	-0,55327
0,855925	-0,78082	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,290383	-0,57327
0,855925	-0,66927	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,138843	-0,59578
0,855925	-0,55773	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,017108	-0,61828
0,855925	-0,44618	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,08242	-0,63886
0,855925	-0,33464	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,16738	-0,65609
0,855925	-0,22309	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,24478	-0,66899
0,855925	-0,11155	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,31523	-0,67694
0,855925	0	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,3788	-0,67964
0,855925	0,111545	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,43759	-0,6771
0,855925	0,223091	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,49191	-0,66966
0,855925	0,334636	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,54246	-0,65794
0,855925	0,446182	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,58931	-0,64294
0,855925	0,557727	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,63357	-0,62604
0,855925	0,669273	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,67518	-0,60904
0,855925	0,780818	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,71445	-0,59428
0,855925	0,892364	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,75143	-0,58468
0,855925	1,003909	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,78691	-0,5839
0,855925	1,115455	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,82072	-0,59644
0,855925	1,227	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,85306	-0,62784
0,855925	1,338546	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,88391	-0,68485
0,855925	1,450091	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,91556	-0,77567
0,855925	1,561637	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,94571	-0,91016
0,855925	1,673182	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,97125	-1,10005
0,855925	-1,67318	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,83063	-0,99155
0,855925	-1,56164	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,59171	-0,78261
0,855925	-1,45009	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,3596	-0,66271
0,855925	-1,33855	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,12928	-0,5998
0,855925	-1,227	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,088285	-0,57284
0,855925	-1,11545	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,303657	-0,568
0,855925	-1,00391	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,51353	-0,57635
0,855925	-0,89236	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,717592	-0,59229
0,855925	-0,78082	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,445027	-0,61253
0,855925	-0,66927	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,274637	-0,63457
0,855925	-0,55773	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,135828	-0,6562
0,855925	-0,44618	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,020923	-0,67573
0,855925	-0,33464	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,07517	-0,69189
0,855925	-0,22309	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,16335	-0,70381
0,855925	-0,11155	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,24349	-0,71092
0,855925	0	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,31566	-0,71297
0,855925	0,111545	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,38217	-0,71001
0,855925	0,223091	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,44345	-0,70235
0,855925	0,334636	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,50028	-0,69064

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
0,855925	0,446182	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,55274	-0,67584
0,855925	0,557727	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,60213	-0,65927
0,855925	0,669273	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,64834	-0,64271
0,855925	0,780818	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,69177	-0,62839
0,855925	0,892364	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,73245	-0,61917
0,855925	1,003909	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,77128	-0,61857
0,855925	1,115455	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,80807	-0,63098
0,855925	1,227	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,84304	-0,66183
0,855925	1,338546	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,8762	-0,71775
0,855925	1,450091	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,90984	-0,8069
0,855925	1,561637	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,9419	-0,93915
0,855925	1,673182	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,96942	-1,12636

Conjunto de Teste

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	v	$\sigma'h$	K
-1,162942	-0,89236	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,43267	0,375713
-1,162942	0	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	0,783422	0,71569
-1,162942	0,446182	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,99872	0,329698
-1,162942	0,892364	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	2,372468	0,18646
-1,162942	-1,33855	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,92576	-0,58868
-1,162942	-0,89236	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,37252	0,808318
-1,162942	0	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	0,569285	1,865529
-1,162942	0,446182	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,900124	1,255854
-1,162942	0,892364	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	2,333526	1,159181
-1,162942	-1,33855	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,90024	-0,61461
-1,162942	-0,89236	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,31229	0,748189
-1,162942	0	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	0,132538	2,110874
-1,162942	0,446182	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,515967	1,640659
-1,162942	1,338546	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	1,763631	1,458821
0,8559254	-1,33855	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,65327	-0,59212
0,8559254	-0,89236	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,16306	-0,41313
0,8559254	0	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,23462	-0,44641
0,8559254	0,446182	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,34209	-0,39176
0,8559254	0,892364	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,48347	-0,32335
0,8559254	1,338546	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,66596	-0,45173
0,8559254	-0,89236	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	0,359038	-0,48661
0,8559254	-0,44618	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,00442	-0,56227
0,8559254	0,446182	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,52508	-0,56831
0,8559254	1,338546	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,83133	-0,61828
0,8559254	-1,33855	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,23992	-0,58149

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	ν	σ'_h	K
0,8559254	-0,89236	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	0,479332	-0,55327
0,8559254	-0,44618	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,08294	-0,63886
0,8559254	0,446182	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,5896	-0,64294
0,8559254	0,892364	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,75162	-0,58468
0,8559254	-1,33855	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,13227	-0,5998
0,8559254	-0,44618	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,021114	-0,67573
0,8559254	0,446182	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,55308	-0,67584
0,8559254	0,892364	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,73267	-0,61917

Conjunto de Validação

Solo	Prof	γ	c	ϕ	E	ν	σ'_h	K
-1,162942	-1,33855	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,97594	-0,51438
-1,162942	-0,44618	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	-0,49595	1,102158
-1,162942	1,338546	0,473247	-0,71801	0,90891	-0,43269	-1,61847	1,973589	-0,04699
-1,162942	-0,44618	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	-0,60939	2,912468
-1,162942	1,338546	1,025369	-0,71801	1,203464	0,97607	-1,10814	1,965789	0,956654
-1,162942	-0,44618	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	-0,89219	2,880572
-1,162942	0,892364	1,577491	-0,71801	1,321286	2,03264	-0,59781	2,049516	1,631896
0,8559254	-0,44618	-1,18312	-0,42236	-0,85841	-0,74966	0,831106	-0,17324	-0,43081
0,8559254	-1,33855	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,30583	-0,56649
0,8559254	0	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,31334	-0,6048
0,8559254	0,892364	-1,18312	-0,12671	-0,85841	-0,71444	0,831106	-0,6911	-0,50961
0,8559254	0	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,37942	-0,67964
0,8559254	1,338546	-0,631	0,464593	-0,85841	-0,60879	0,831106	-0,88265	-0,68485
0,8559254	-0,89236	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	0,654671	-0,59229
0,8559254	0	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,31636	-0,71297
0,8559254	1,338546	-0,07887	2,238493	-0,85841	-0,50313	0,831106	-0,87511	-0,71775

ANEXO 4:

Código Fonte da Rede Neural

% Algoritmo de desenvolvimento de Rede Neural Sequencial

```
% [A] Dados -----  
  
% [A1] Conjunto de Treino  
X;      % Entrada da Rede Neural  
t;      % Treino  
  
% [A2] Conjunto de Teste  
Tst;    % Entrada do conjunto de teste  
tts;    % Treino do conjunto de teste  
  
% [A3] Conjunto de Validação  
Vld;    % Entrada do conjunto de validação  
tv1;    % Treino do conjunto de validação  
  
% [B] Início da Rede -----  
  
% [B1] Parametros  
  
K = 2;          % Numero de Camadas  
eta = 0.002;    % Taxa de Aprendizado inicial  
Delta = 1e-6;  % Critério de Parada  
N = size(X,2);  % Número de Entradas  
E = N;         % Number of Feed-Forward Iterations per Epoch  
alpha = 0.99;  % Fator de decaimento de Aprendizado  
mu = 0.9;      % Momentum constant  
  
% [B2] Camadas  
  
L(1).W = rand(size(X,1),size(X,1))-0.5;  
L(1).b = rand(size(X,1),1)-0.5;  
L(2).W = rand(1,size(X,1))-0.5;  
L(2).b = rand(1,1)-0.5;  
  
for k=1:K,  
    L(k).vb = zeros(size(L(k).b));  
    L(k).vW = zeros(size(L(k).W));  
end;  
  
% [C] Treinamento Backpropagation -----  
  
n=1; i=1; fim=0;  
while not(fim),  
  
    for k=1:K,  
        L(k).db = zeros(size(L(k).b));  
        L(k).dW = zeros(size(L(k).W));  
    end;  
    J(i) = 0;  
    for ep=1:E,  
  
        % [C1] Feed-Forward  
  
        L(1).x = X(:,n);
```

```

for k = 1:K,
    L(k).u = L(k).W*L(k).x + L(k).b;
    L(k).o = tanh(L(k).u);
    L(k+1).x = L(k).o;
end;
e = t(n) - L(K).o;
J(i) = J(i) + (e'*e)/2;

% [C2] Error Backpropagation

L(K+1).alpha = e; L(K+1).W = eye(length(e));
for k = flip(1:K),
    L(k).M = eye(length(L(k).o)) - diag(L(k).o)^2;
    L(k).alpha = L(k).M*L(k+1).W'*L(k+1).alpha;
    L(k).db = L(k).db + L(k).alpha;
    L(k).dW = L(k).dW + kron(L(k).x',L(k).alpha);
end;
n = n+1; if n>N, n=1; end;

end;

% [C3] Atualização

for k = 1:K,
    L(k).vb = eta*L(k).db + mu*L(k).vb;
    L(k).b = L(k).b + L(k).vb;
    L(k).vW = eta*L(k).dW + mu*L(k).vW;
    L(k).W = L(k).W + L(k).vW;
end;
J(i) = J(i)/E;

% [C4] Critério de Parada

if (i>1),
    if (abs(J(i)-J(i-1))/J(i) < Delta)|(i>1000),
        fim = 1;
    end;
end;
if not(fim)
    i = i+1; if n>N, n=1; end; eta = eta*alpha;
end;

end;

% [D] Teste -----

hold on;
for n = 1:size(Tst,2),
    L(1).x = Tst(:,n);
    for k = 1:K,
        L(k).u = L(k).W*L(k).x + L(k).b;
        L(k).o = tanh(L(k).u);
        L(k+1).x = L(k).o;
    end;
    plot(L(2).o,tts(n),'ko-');
end;
plot([-1 1],[-1 1],'r-')
hold off

```

```
figure; plot(J);
```


Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)