

Relatório Técnico — Solo Reforçado (CRISP92-SC)

Autor: Caio Faria Zouain Almeida

Execução: 2025

Observações-chave 1) Todos os **deslocamentos reportados** são dos **nós da malha (solo)**.

2) **Interfaces solo–reforço/face não foram modeladas** (sem elementos/coeficientes de interface).

3) O **método de Iturri** foi utilizado para representar compactação no CRISP92-SC, via arquivos **TOP/MPC** (conforme anexos); **não é necessário apresentar equações**, apenas documentar o procedimento e parâmetros adotados.

4) O parâmetro **Le não** representa comprimento de ancoragem físico. É uma **extensão curta e de baixa rigidez**, adicionada ao fim do elemento de reforço para que a **tensão axial tenda a zero** no extremo livre (recurso numérico de modelagem).

1) Geometria e Malha

- **Domínios:** fundação (**30,50 m × 10,00 m**), aterro **reforçado** (**4,025 m × 5,00 m**) e aterro **não reforçado** (**16,475 m × 5,00 m**).
- **Elementos:** **quadriláteros** para o solo; **barras** para **reforços** e **face**.
- **Níveis de reforço:** 10 níveis; 1º nível a **0,25 m** da base do aterro; espaçamento vertical **0,50 m**.
- **Etapas:** construção em **10 camadas**; **11ª camada** sem solo, utilizada exclusivamente para **aplicação da sobrecarga**.
- [Espaço para **Figura 1** — geometria e malha]

2) Materiais

2.1 Solo de fundação

- Parâmetros (modelo hiperbólico/Seed-Duncan): $\gamma=20,4 \text{ kN/m}^3$; $\kappa=600$; $n=0,25$; $R_f=0,7$; $k_b=450$; $m=0$; $c=0 \text{ kPa}$; $\phi=36^\circ$; $\Delta\phi=1$; $k_{ur}=900$.
- [Se aplicável: observações sobre drenagem/adensamento].

2.2 Solo de aterro

- Parâmetros (hiperbólico/Seed-Duncan): $\gamma=19,6 \text{ kN/m}^3$; $\kappa=480$; $n=0,50$; $R_f=0,8$; $\kappa_b=100$; $m=0,5$; $c=0 \text{ kPa}$; $\phi=35^\circ$; $\Delta\phi=0$; $\kappa_{ur}=720$.

2.3 Reforço metálico

- **Rigidez axial:** $E \cdot A = 24\,318 \text{ kN/m}$; $\nu=0$.
- **Le (extensão de baixa rigidez):** definido apenas para descarregar o extremo livre (tensão \rightarrow 0).
- **Índice de rigidez relativa solo-reforço (S_i):** 1,0.
- [Comprimento total do reforço L_r e eventuais dimensões adicionais — preencher, se necessário].

2.4 Reforço em geogrelha

- **Rigidez axial:** $E \cdot A = 2\,431,8 \text{ kN/m}$; $\nu=0$.
- **Le (extensão de baixa rigidez):** idem metálico.
- **Índice S_i :** 0,10.
- [L_r — preencher, se necessário].

2.5 Face

- Elemento de barra; $E \cdot A = 24,318 \text{ kN/m}$; $\nu=0$.

Nota sobre o parâmetro S_i : S_i é utilizado como **índice de rigidez relativa solo-reforço** para calibrar a participação do reforço na resposta global. Não substitui parâmetros de interface (não modelados neste estudo) e pode atuar como fator de ajuste de rigidez efetiva.

3) Condições de Contorno e Regime de Análise

- **Regime:** análise **drenada**.
- **Base:** deslocamentos $U_x = 0$ e $U_y = 0$.
- **Laterais:** $U_x = 0$ (roletes verticais); U_y livre.

- **Topo:** livre.
- **Face:** conforme representação por elemento de barra (sem interface específica).
- **Observação:** as condições foram configuradas segundo o padrão adotado em trabalhos anteriores com o CRISP92-SC; **ver anexos (prints TOP/MPC)** para rastreabilidade.

4) Carregamentos e Processo Construtivo

- **Construção:** ativação sequencial de **10 camadas** de aterro com reforços.
- **Caso de referência (sem sobrecarga):** estado obtido ao final da 10ª camada.
- **Sobrecarga no topo:** pressão distribuída $q \in \{10; 50; 100 \text{ kPa}\}$ aplicada na **11ª** camada.
- **Comprimento da faixa carregada:** desde d_0 até o **fim do reforço** (extremidade oposta à face).
 - **Configurações de início (d_0 , medido a partir da face):** **0,00 m** (sobre toda a área reforçada), **0,40 m**, **0,80 m** e **1,20 m**.
- [Espaço para **Figura 2** — esquemas das quatro faixas de aplicação]

5) Compactação — Procedimento de Iturri (CRISP)

- A compactação foi representada pelo **método de Iturri** no **CRISP92-SC**, com controle via arquivos **TOP** e **MPC**. Não são apresentadas equações; registra-se **procedimento** e **parâmetros** utilizados, em formato **texto** para reprodutibilidade.

5.1 Parâmetros do arquivo TOP (transcrição literal dos prints)

```
101.325  1  2
1  0.413  0  1  1  1
0  10
30.5  10
0
```

Notas - Decimais foram padronizados no corpo do TCC com vírgula: 101,325; 0,413; 30,5.
 - Estes valores derivam dos prints fornecidos; a semântica de cada campo segue o padrão de implementação do método de Iturri no CRISP.
 - Caso seja necessário, pode-se incluir, em apêndice, a tabela “campo → significado” conforme manual/rotina utilizada.

5.2 Parâmetros do arquivo MPC — ativação por camada (transcrição literal)

Camada	Coluna 2	Coluna 3
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0

Notas - A tabela acima registra, linha a linha, os **flags de aplicação** por etapa.

- A construção foi modelada em **10 camadas**; a **11ª camada** é **sem solo** (faixa para aplicação de sobrecarga). A **12ª** refere-se ao fechamento/configuração final do carregamento conforme rotina.

5.3 Procedimento resumido

1. Construção do aterro reforçado em **10 camadas** (ativação sequencial).
2. Aplicação da compactação segundo **Iturri** via TOP/MPC, conforme valores transcritos nas Tabelas 5.1 e 5.2.
3. Criação da **11ª etapa** (sem solo) para aplicação de **sobrecarga no topo** ($q = 10/50/100$ kPa) com início $d_0 = 0,00; 0,40; 0,80; 1,20$ m a partir da face e **extensão até o fim do reforço**.
4. Exportação de **deslocamentos do solo, tensão axial nos reforços** (com uso de **Le** como extensão de baixa rigidez para descarregar o extremo) e σ'_v/σ'_h no maciço.

Esclarecimentos importantes - **Le** não é comprimento de ancoragem físico; é uma **extensão curta e de baixa rigidez** no final do reforço para que a **tensão axial** $\rightarrow 0$ no extremo (recurso numérico).

- **Interfaces solo-reforço/face: não modeladas.**

- **Si** (índice de rigidez relativa solo-reforço) é um parâmetro de **ajuste de rigidez relativa**, não um parâmetro de interface.

6) Cenários Simulados (Matriz de Casos)

- **Tipos de reforço: Metálico (M) e Geogrelha (G).**
- **Níveis de carga: q10, q50, q100** (kPa).
- **Posição de início da faixa: D0, D40, D80, D120** (m, a partir da face).
- **Caso controle: C0** (sem sobrecarga, após 10ª camada).

Codificação sugerida: T[M|G]_Q[10|50|100]_D[0|40|80|120]

Exemplo: TM_Q50_D80 = Reforço metálico, q=50 kPa, início a 0,80 m da face.

7) Saídas e Métricas

- **Deslocamentos do solo:** mapas
 - **Reforços (metálico e geogrelha): tensão axial** máxima por nível e **distribuição** ao longo do comprimento (incluindo o efeito do **Le** para descarregar o extremo).
 - **Tensões no maciço:** σ'_v e σ'_h — mapas e perfis em seções representativas.
 - **Produtos:** tabelas e gráficos padronizados; planilha-mestre results_master.csv.
-

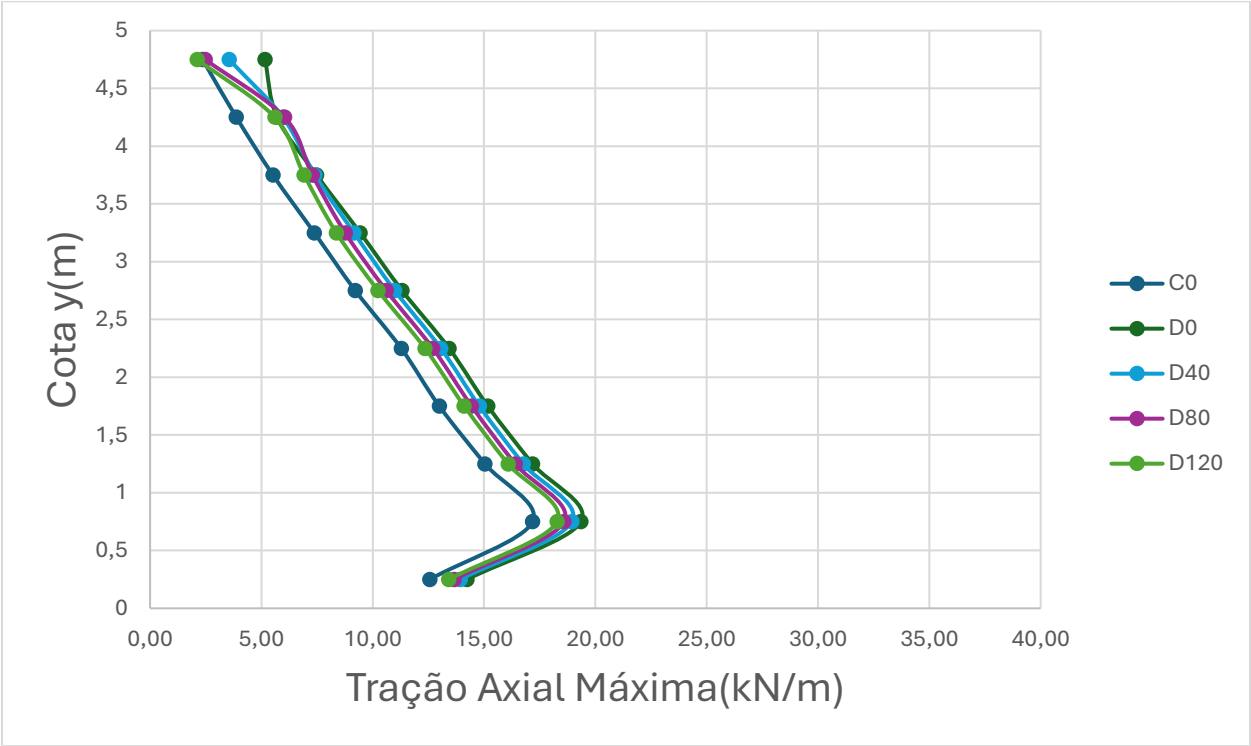
8) Notas e Delimitações

- **Interfaces:** não modeladas.
 - **Le:** extensão numérica de baixa rigidez (**não** é comprimento de ancoragem).
 - **Unidades/definições detalhadas:** serão consolidadas na versão final do texto principal do TCC.
 - **[LACUNA] Resultados:** serão inseridos; ver estrutura de apêndice abaixo.
-

Apêndice A: Tração no reforço

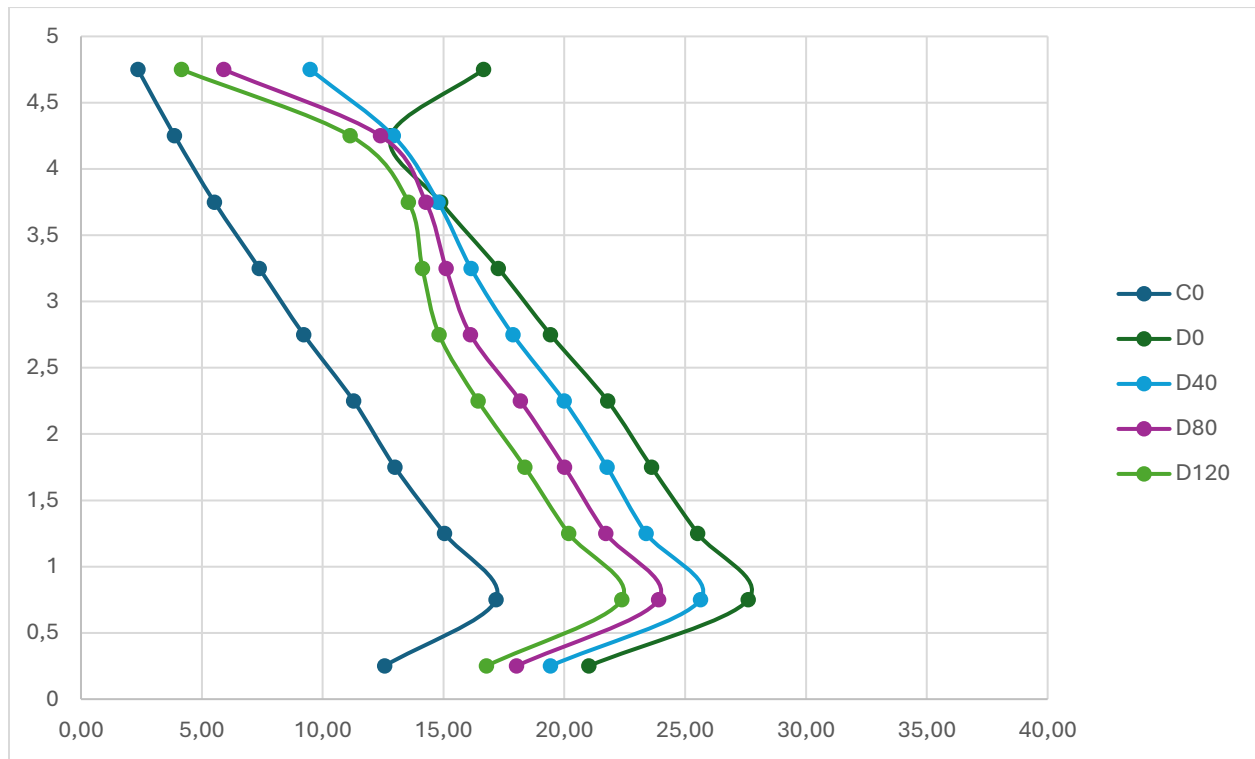
Reforço Metálico:

10kPa(TM_Q10):

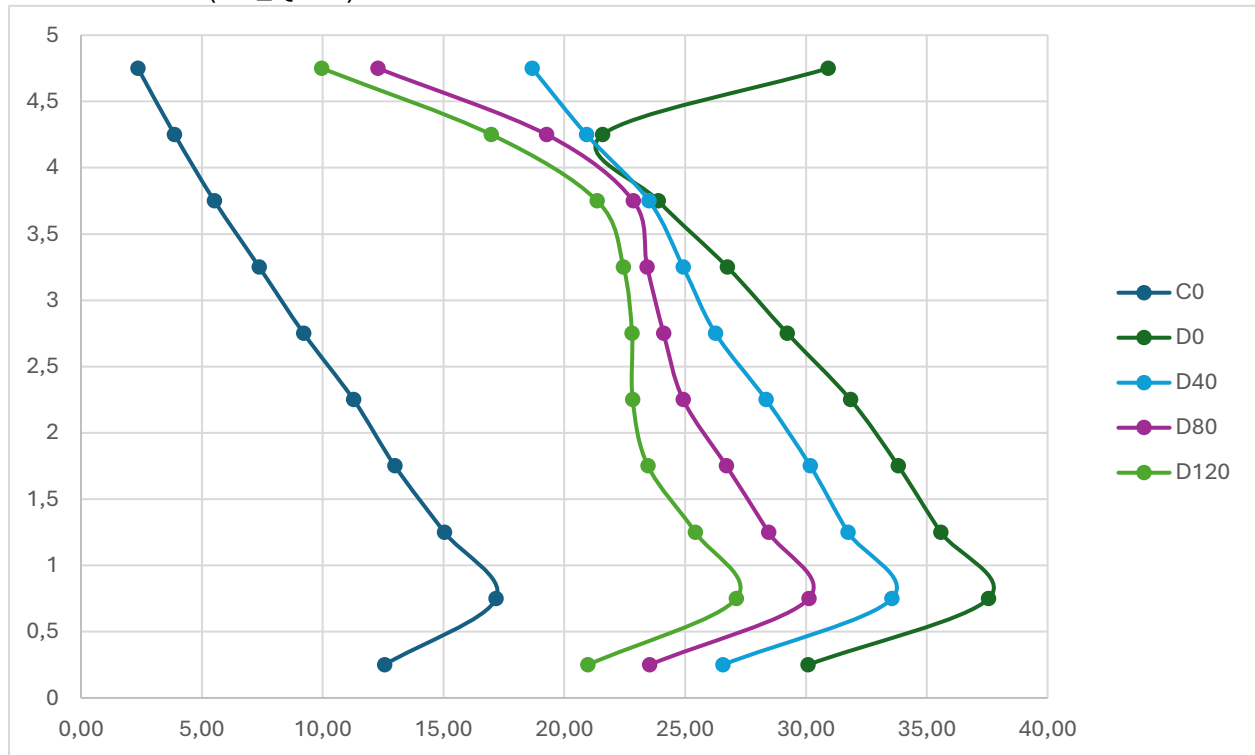


SEM APLICAÇÃO DE FORÇA EA= 24,318							
Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)						
0,25	12,56						
0,75	17,18						
1,25	15,04						
1,75	12,99						
2,25	11,28						
2,75	9,22						
3,25	7,38						
3,75	5,52						
4,25	3,87						
4,75	2,36						
10kPa APLICADO EM TODO O REF. EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 0,40m EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 0,80m EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 1,20m EA= 24,318	
Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)
0,25	14,23	0,25	13,93	0,25	13,66	0,25	13,42
0,75	19,35	0,75	18,94	0,75	18,59	0,75	18,28
1,25	17,18	1,25	16,76	1,25	16,40	1,25	16,08
1,75	15,17	1,75	14,79	1,75	14,44	1,75	14,11
2,25	13,43	2,25	13,06	2,25	12,70	2,25	12,35
2,75	11,32	2,75	10,99	2,75	10,61	2,75	10,24
3,25	9,44	3,25	9,16	3,25	8,77	3,25	8,37
3,75	7,48	3,75	7,40	3,75	7,29	3,75	6,92
4,25	5,70	4,25	5,96	4,25	6,04	4,25	5,60
4,75	5,16	4,75	3,55	4,75	2,48	4,75	2,12

50kPa(TM_Q50):

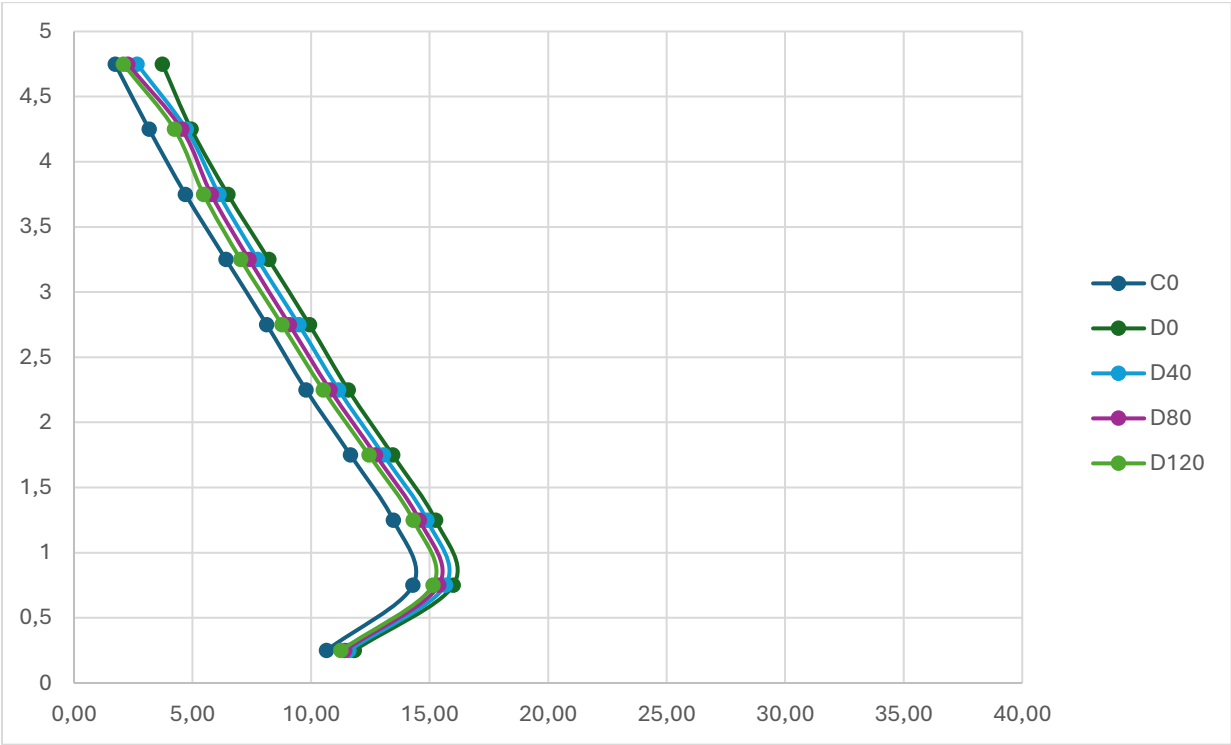


100kPa(TM_Q100):



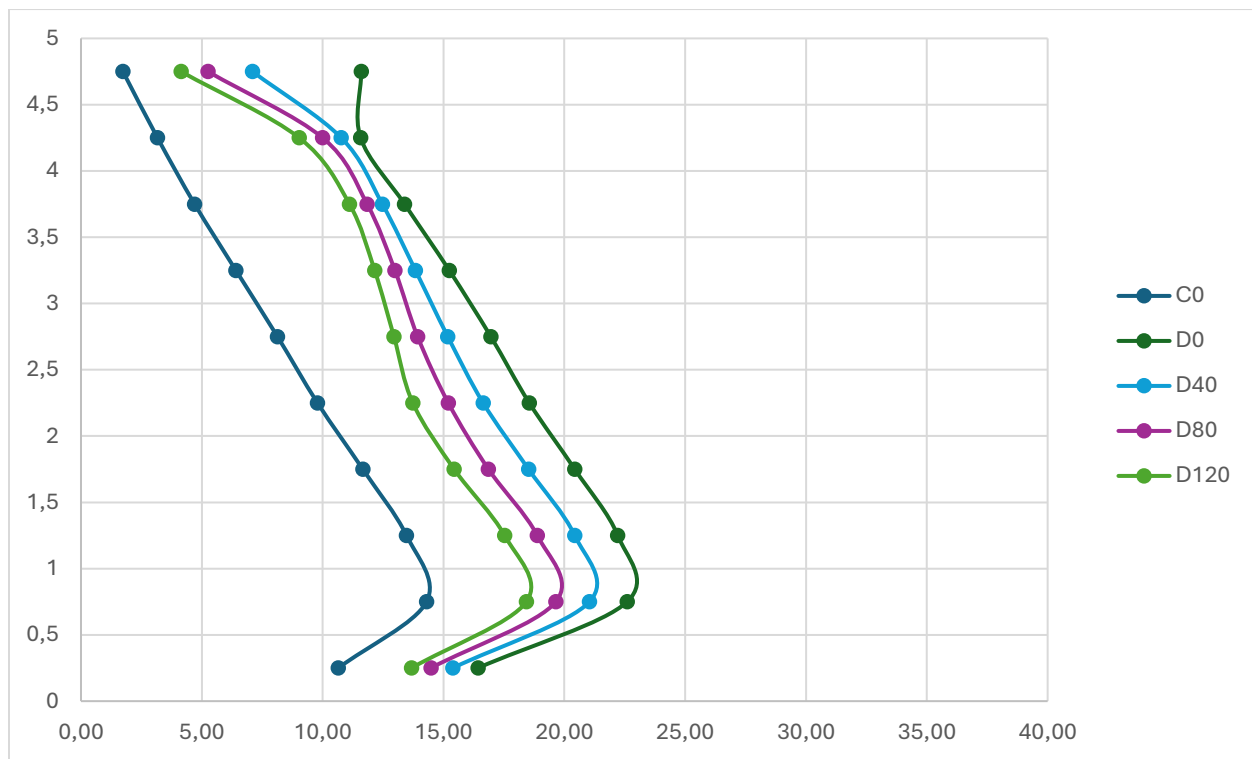
Reforço Geogrelha:

10kPa(TG_Q10):

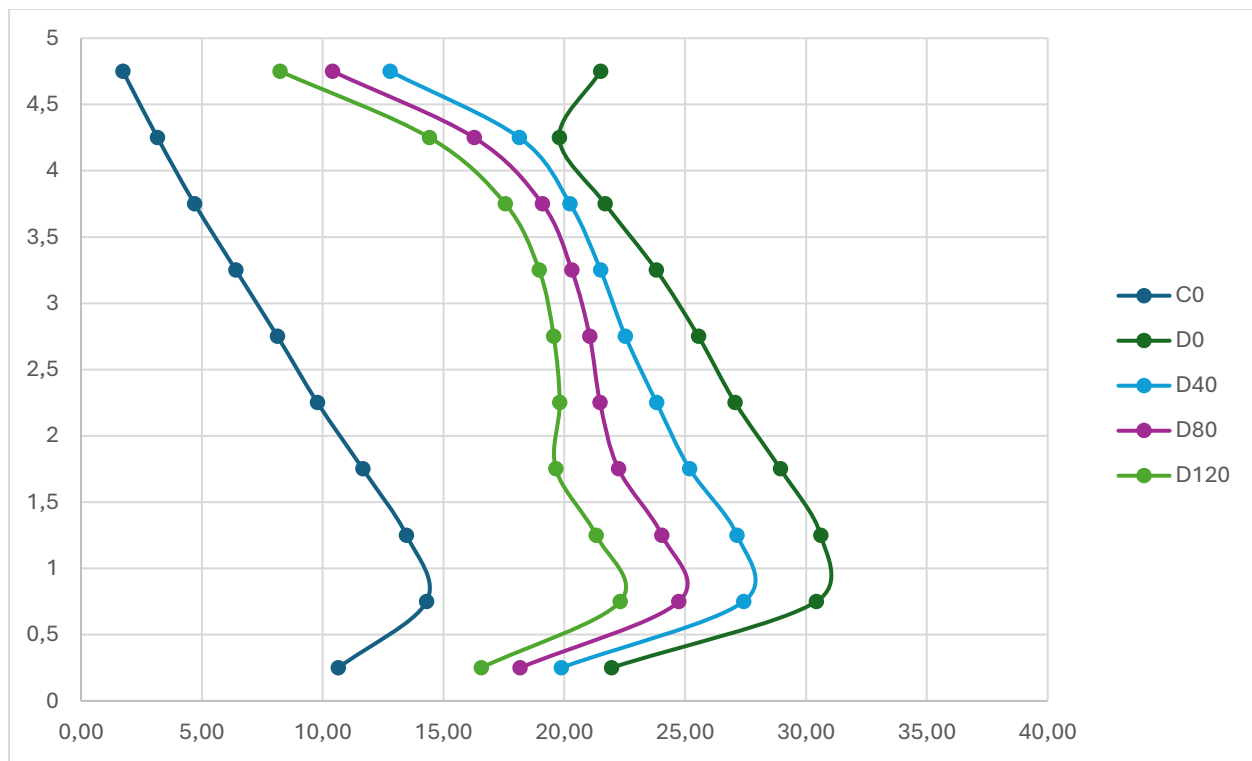


SEM APLICAÇÃO DE FORÇA EA= 24,318							
Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)						
0,25	10,65						
0,75	14,30						
1,25	13,47						
1,75	11,66						
2,25	9,79						
2,75	8,13						
3,25	6,41						
3,75	4,70						
4,25	3,17						
4,75	1,74						
10kPa APLICADO EM TODO O REF. EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 0,40m EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 0,80m EA= 24,318		10kPa APLICADO A PARTIR DE 1,20m EA= 24,318	
Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)	Nível(m)	Tração Máx.(kN/m)
0,25	11,82	0,25	11,60	0,25	11,42	0,25	11,26
0,75	16,00	0,75	15,67	0,75	15,39	0,75	15,14
1,25	15,25	1,25	14,89	1,25	14,57	1,25	14,31
1,75	13,44	1,75	13,05	1,75	12,72	1,75	12,44
2,25	11,57	2,25	11,16	2,25	10,80	2,25	10,51
2,75	9,93	2,75	9,48	2,75	9,09	2,75	8,78
3,25	8,22	3,25	7,75	3,25	7,39	3,25	7,03
3,75	6,49	3,75	6,12	3,75	5,79	3,75	5,47
4,25	4,95	4,25	4,74	4,25	4,55	4,25	4,24
4,75	3,73	4,75	2,66	4,75	2,26	4,75	2,08

50kPa(TG_Q50):



100kPa(TG_Q100):



O caso sem aplicação de força(C0) se repete em todos os gráficos, para parâmetro de comparação.

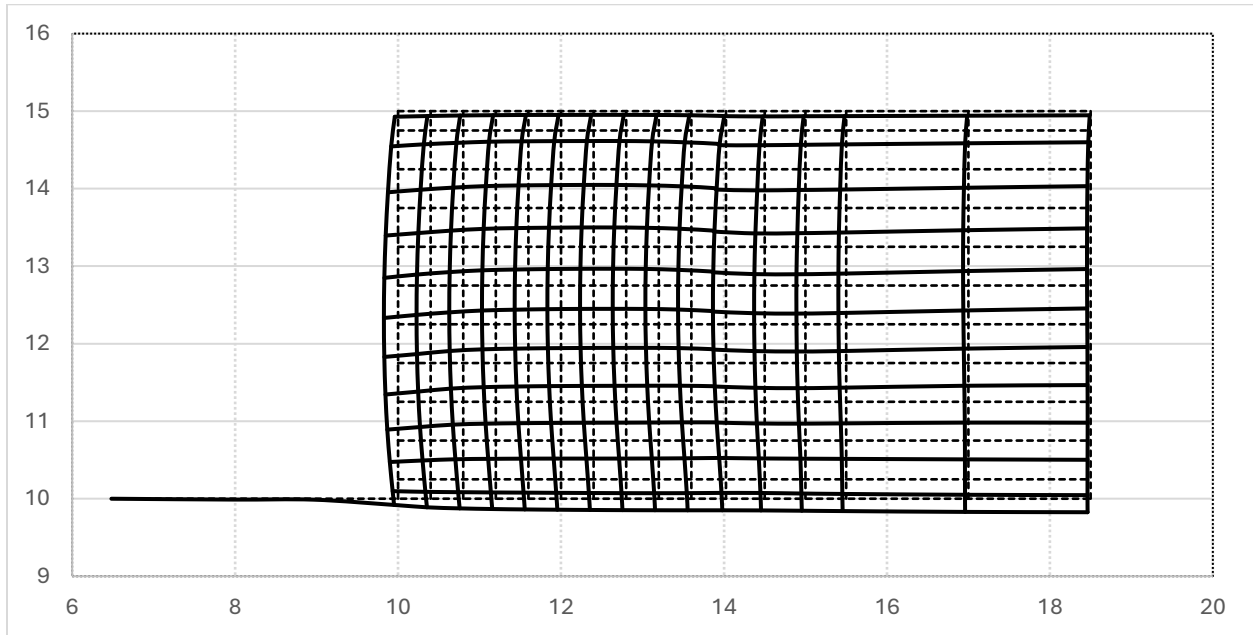
A legenda dos eixos está só no primeiro gráfico apresentado, mas é igual para todos.

Os casos de 10kPa estão, só para quesito de clareza, com as tabelas que geraram o gráfico apresentadas abaixo deles.

Apêndice B: Deslocamentos

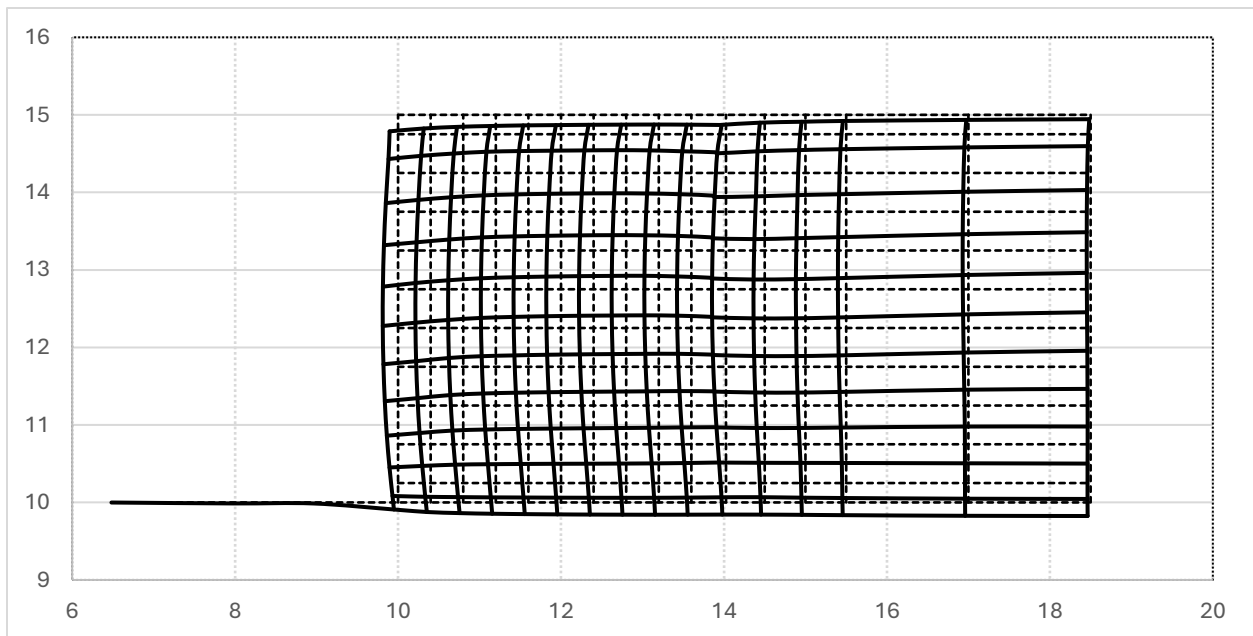
Reforço Metálico:

Sem aplicação de tensão(TM_C0)

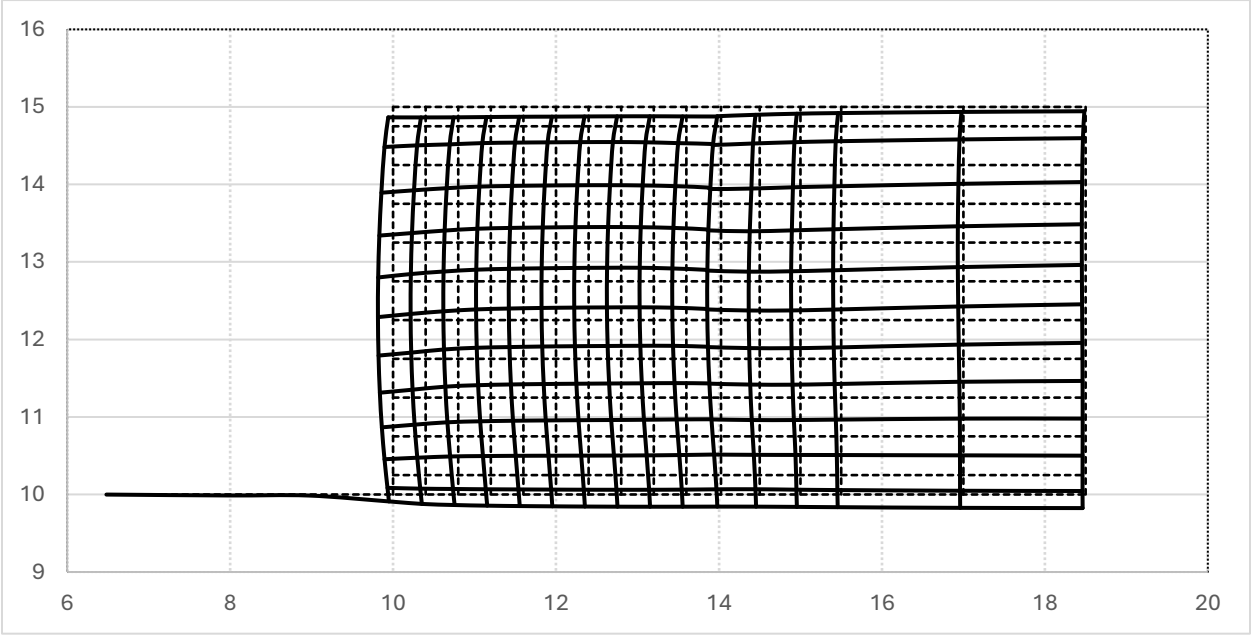


10kPa:

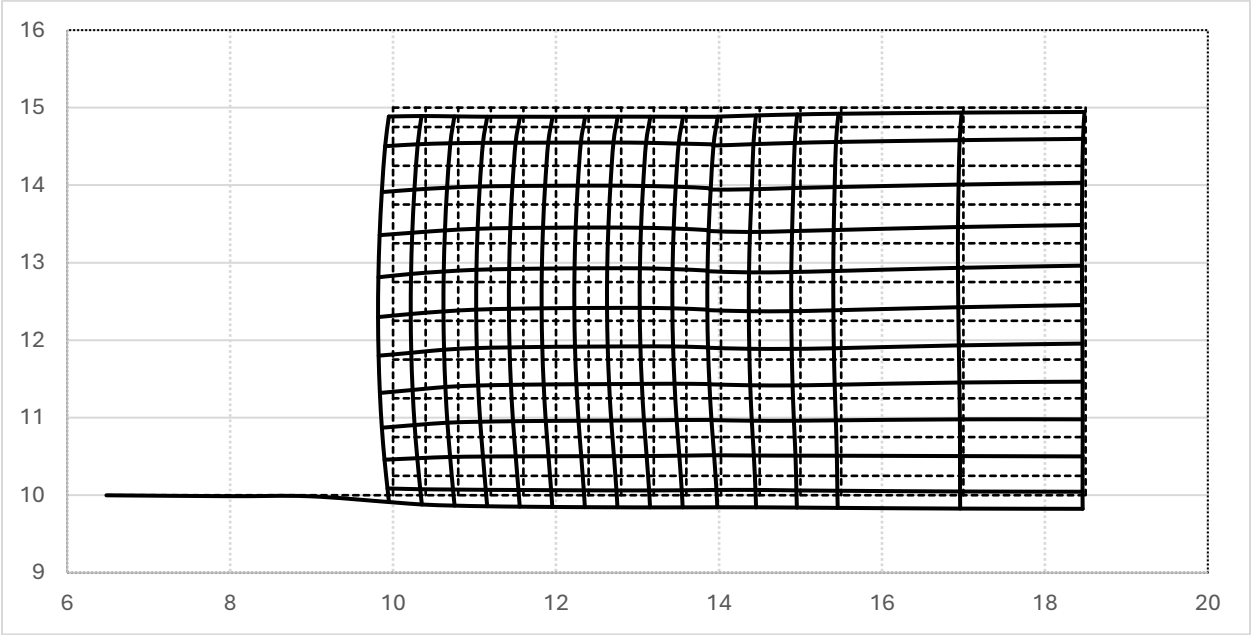
D0(TM_Q10_D0)



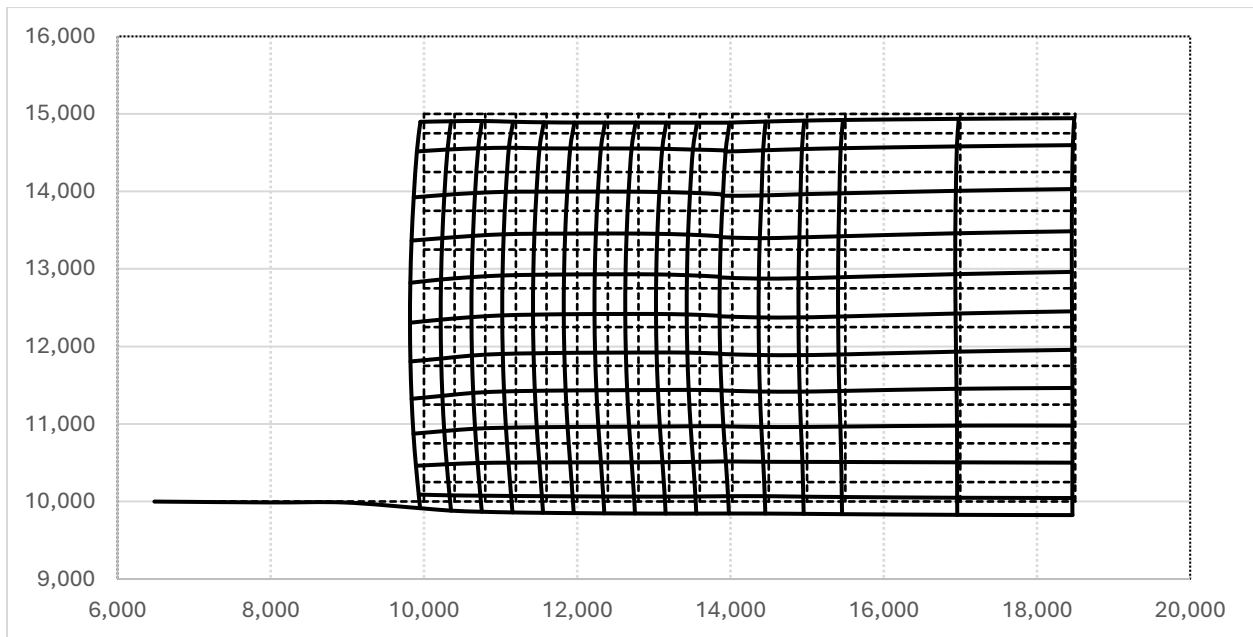
D40(TM_Q10_D40)



D80(TM_Q10_D80)

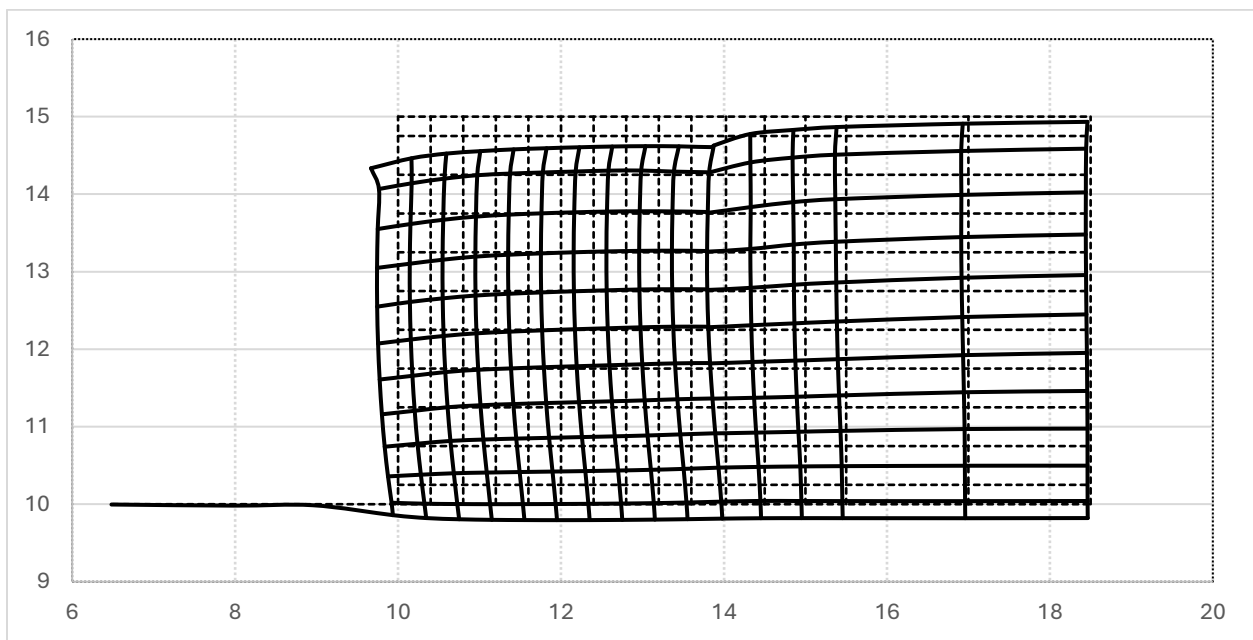


D120(TM_Q10_D120)

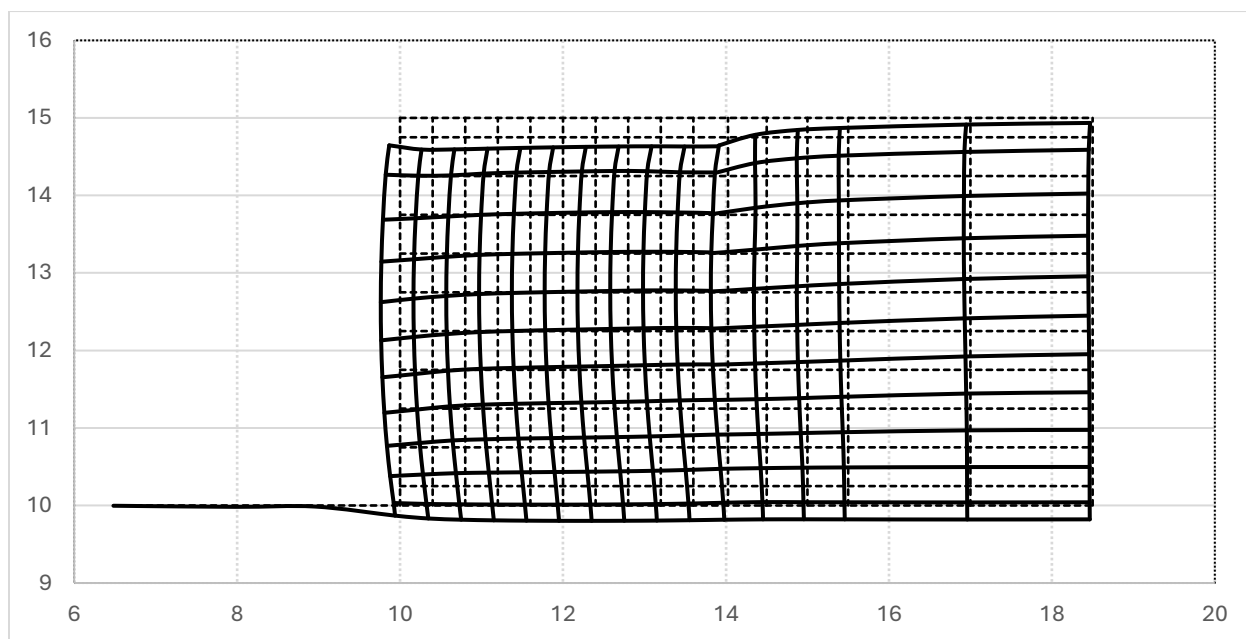


50kPa:

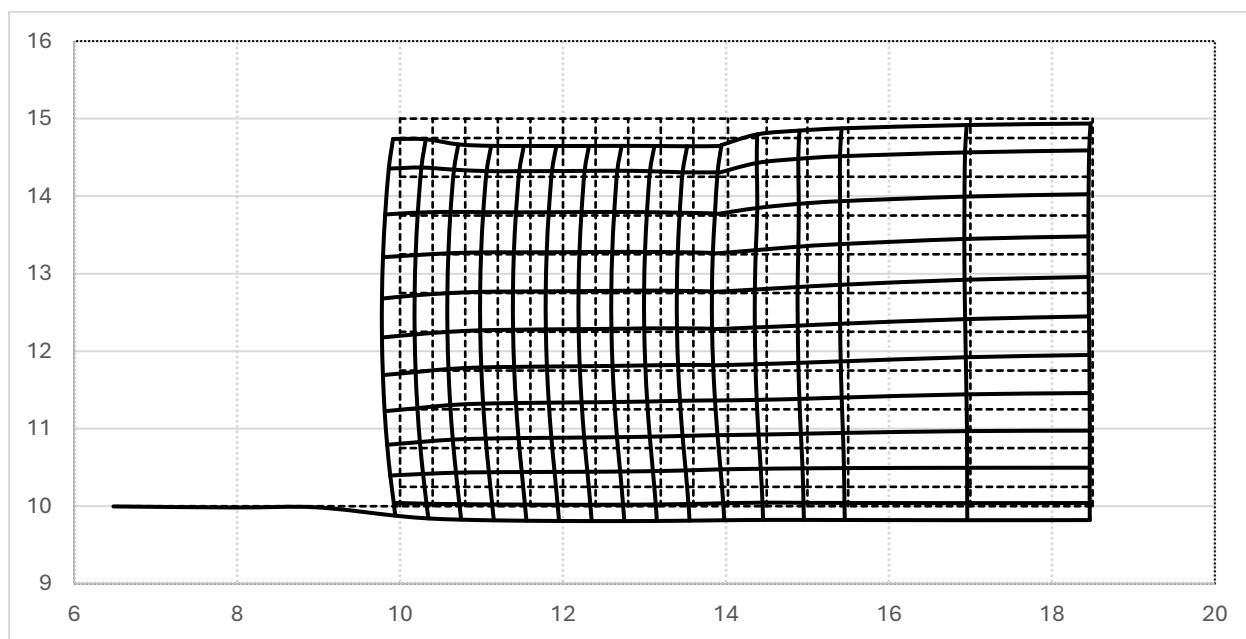
D0(TM_Q50_D0)



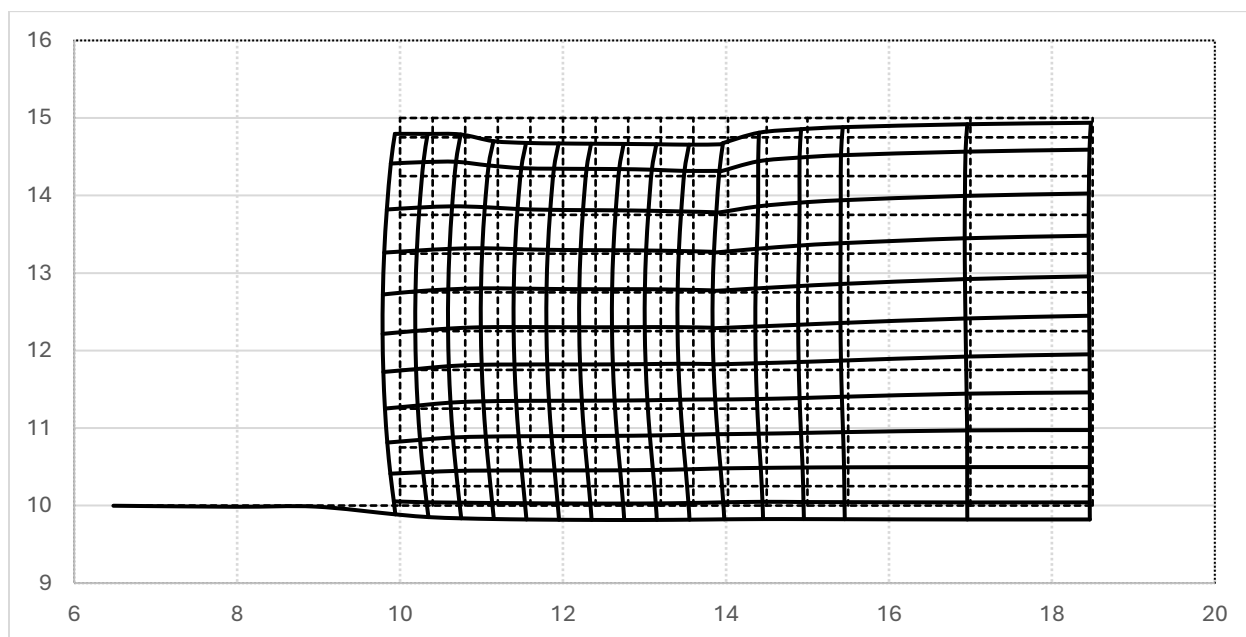
D40(TM_Q50_D40)



D80(TM_Q50_D80)

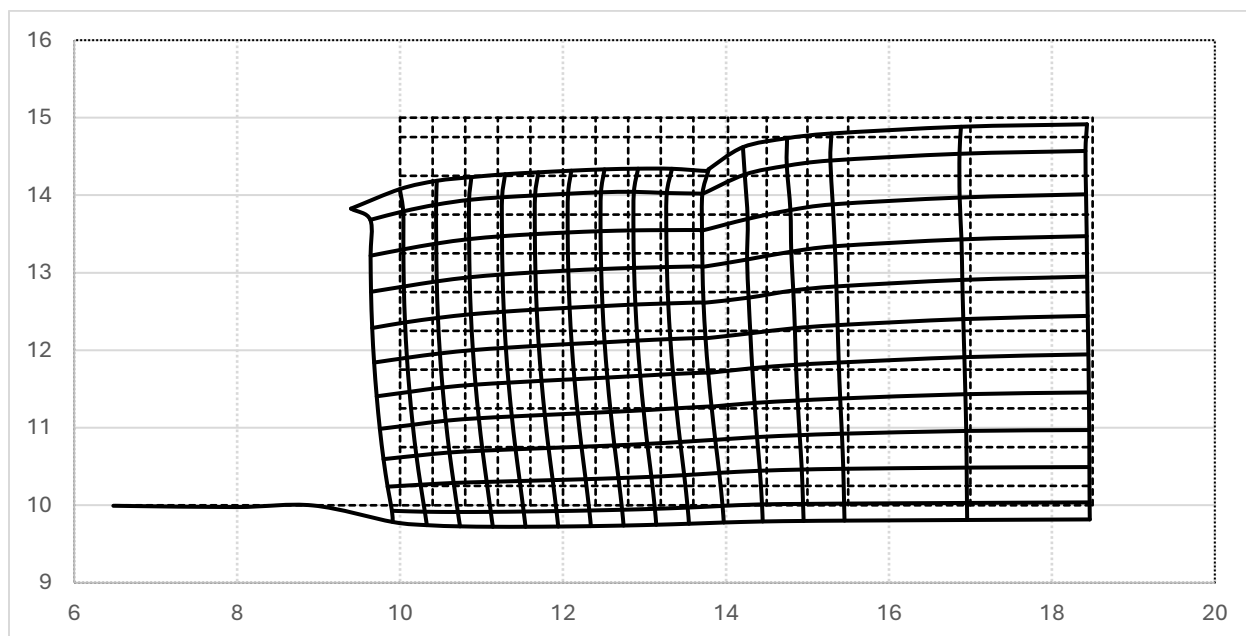


D120(TM_Q50_D120)

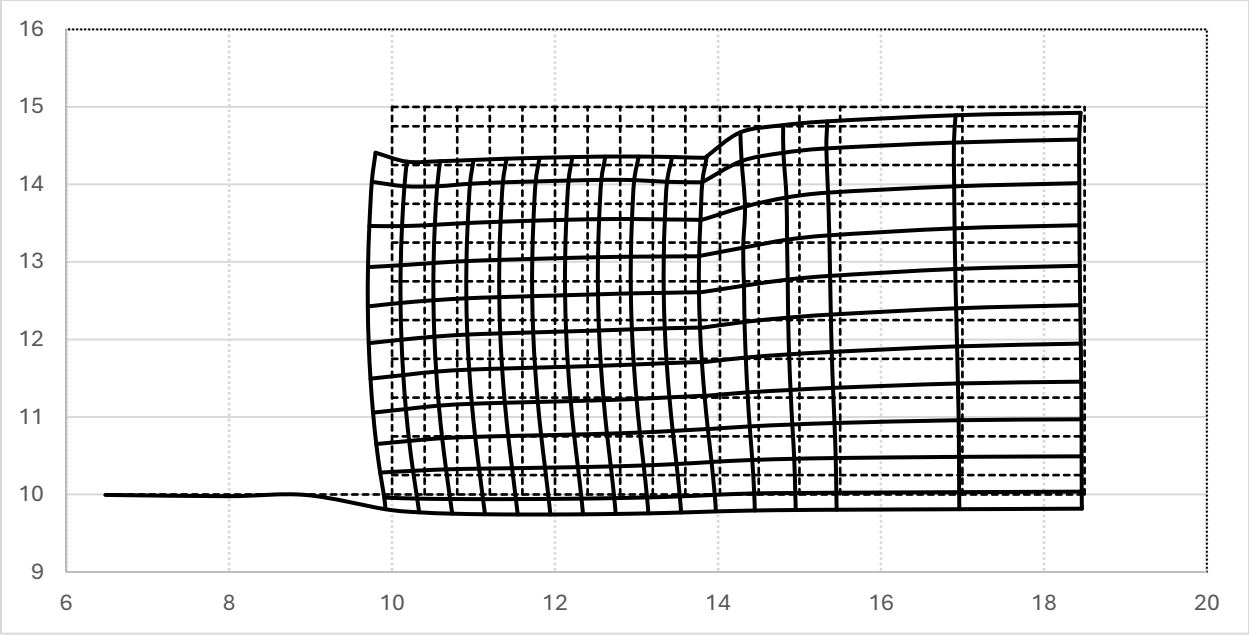


100kPa:

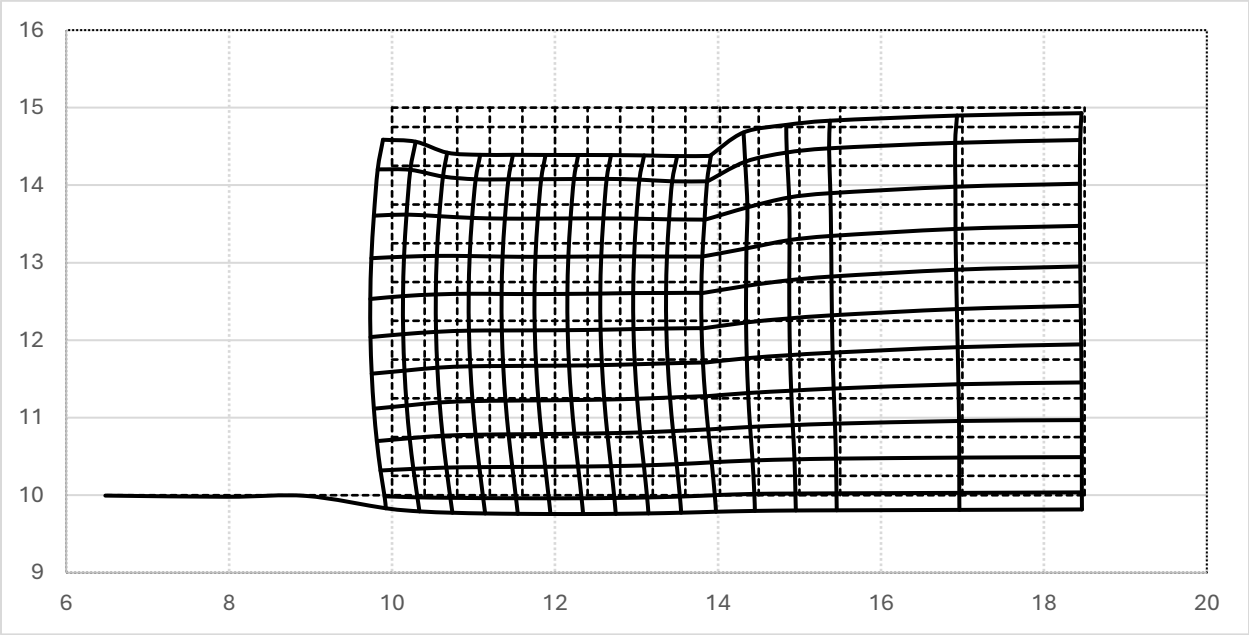
D0(TM_Q100_D0)



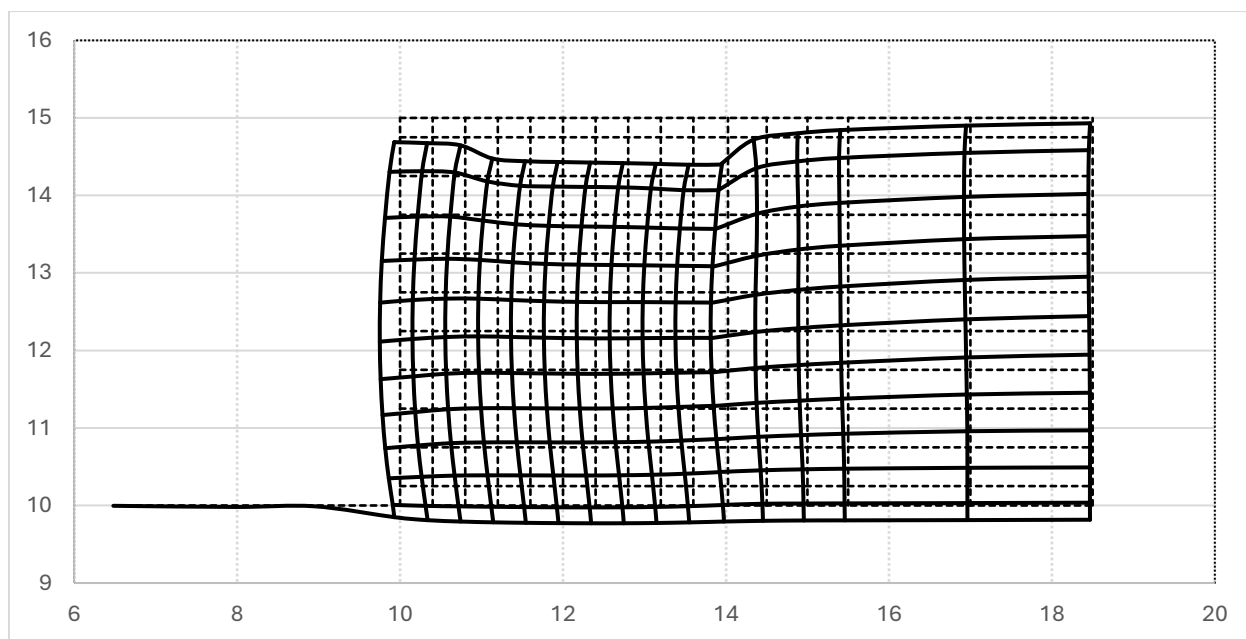
D40(TM_Q100_D40)



D80(TM_Q100_D80)

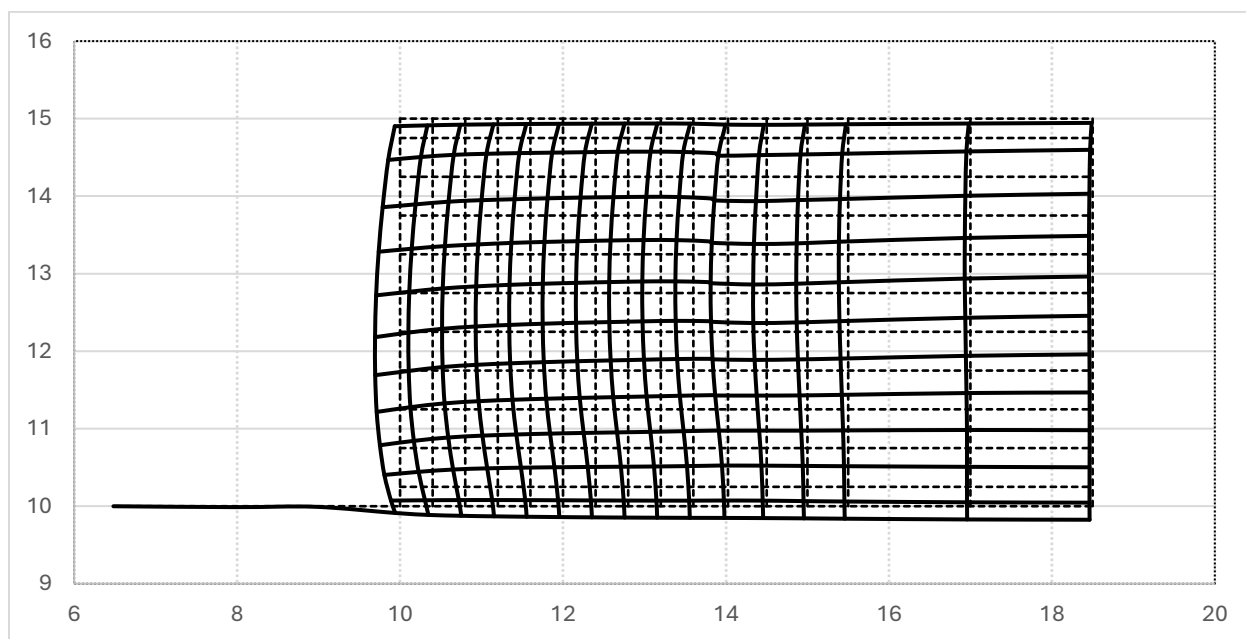


D120(TM_Q100_D120)



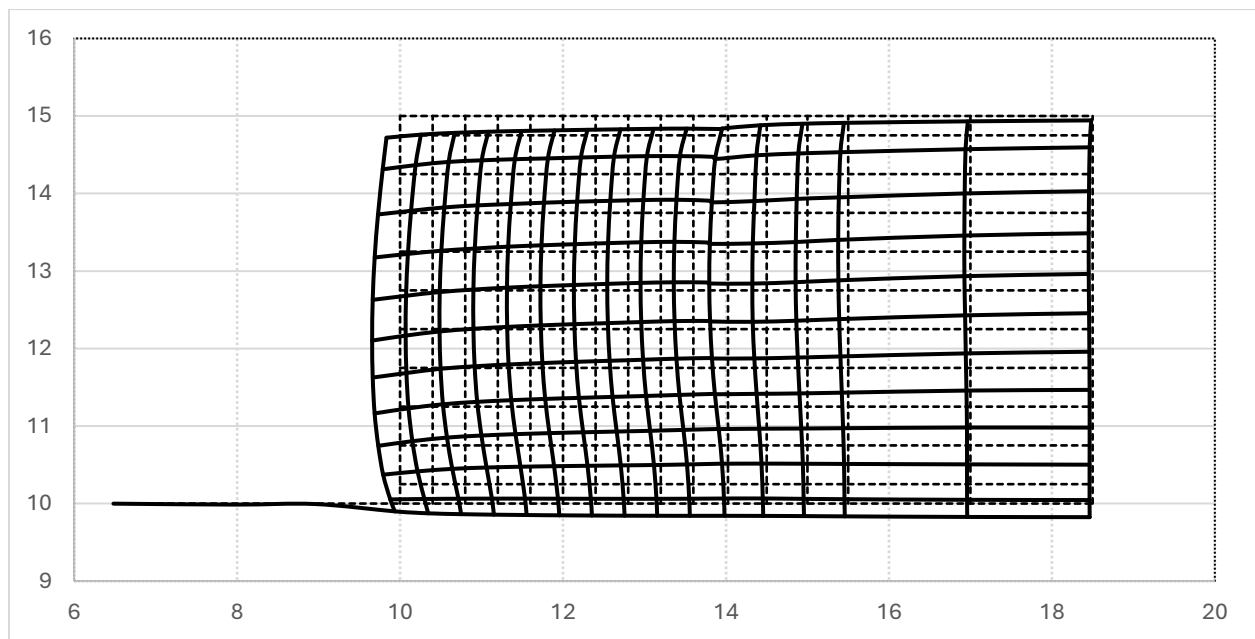
Reforço Geogrelha:

Sem aplicação de tensão(TG_C0)

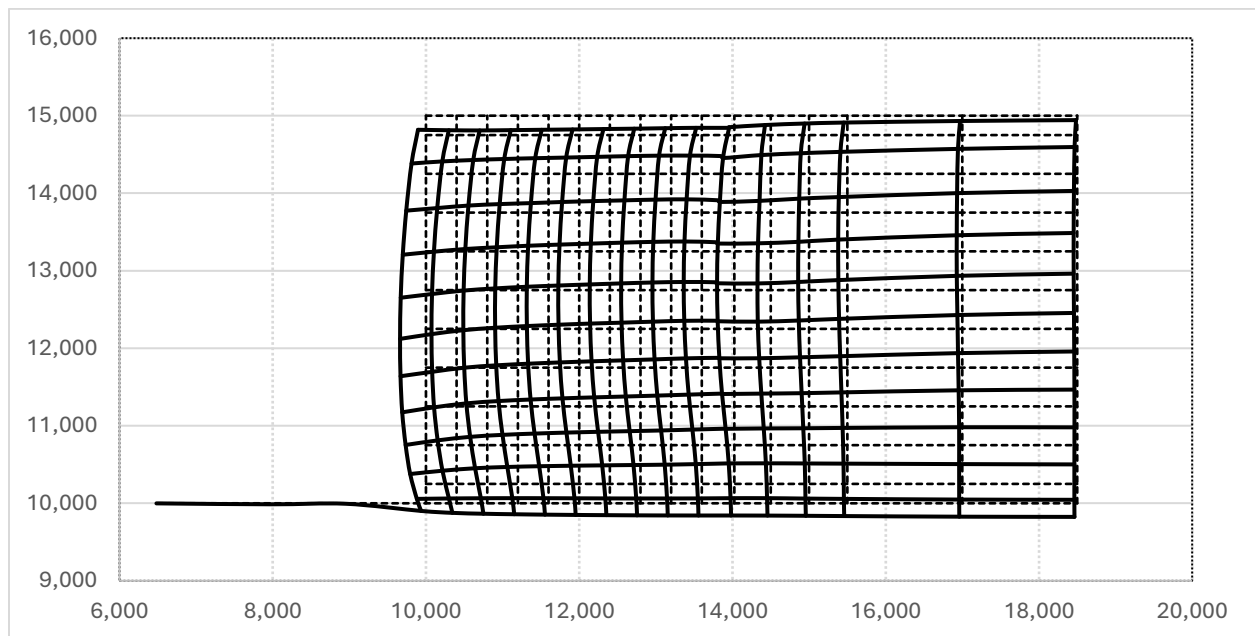


10kPa:

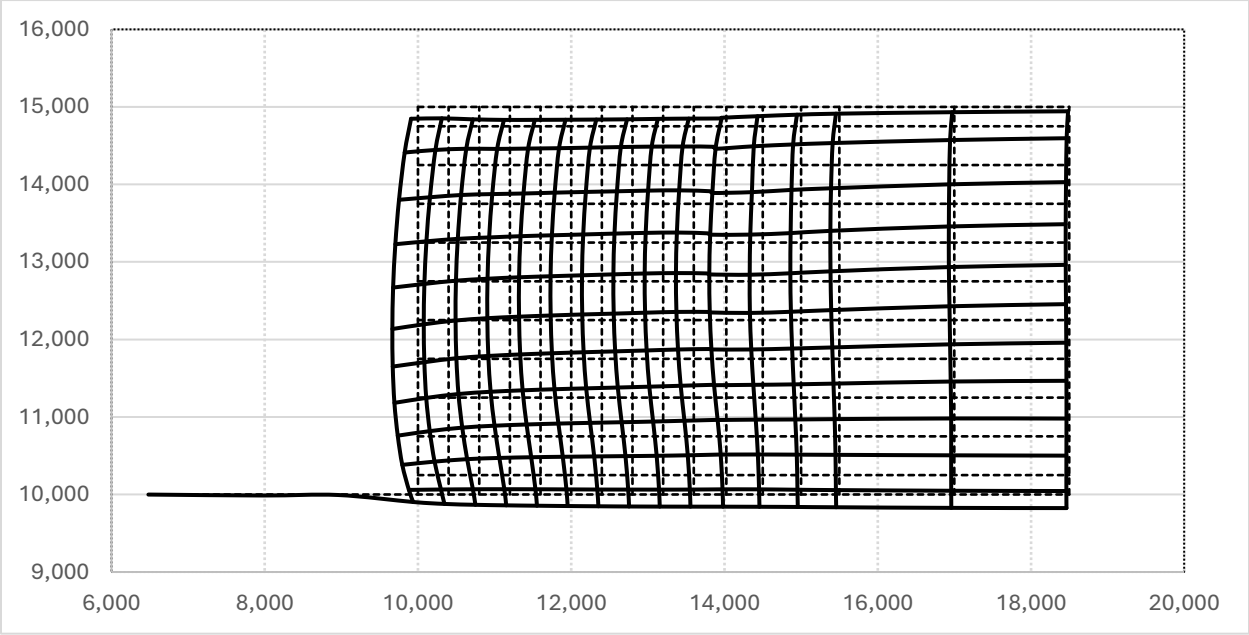
D0(TG_Q10_D0)



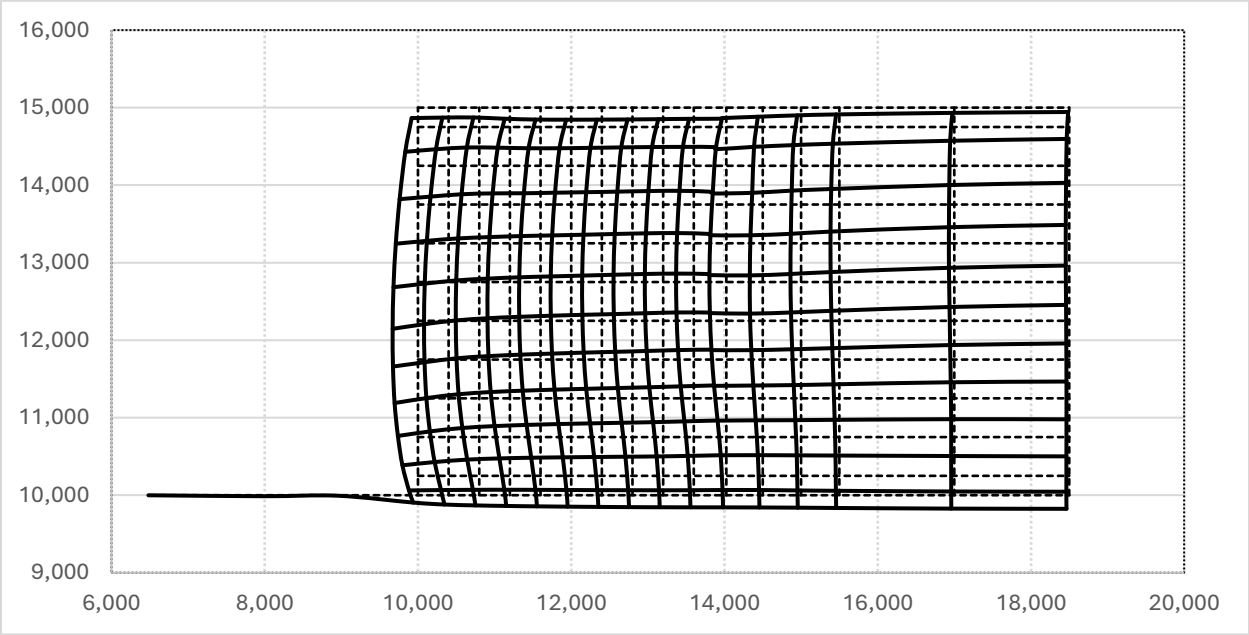
D40(TG_Q10_D40)



D80(TG_Q10_D80)

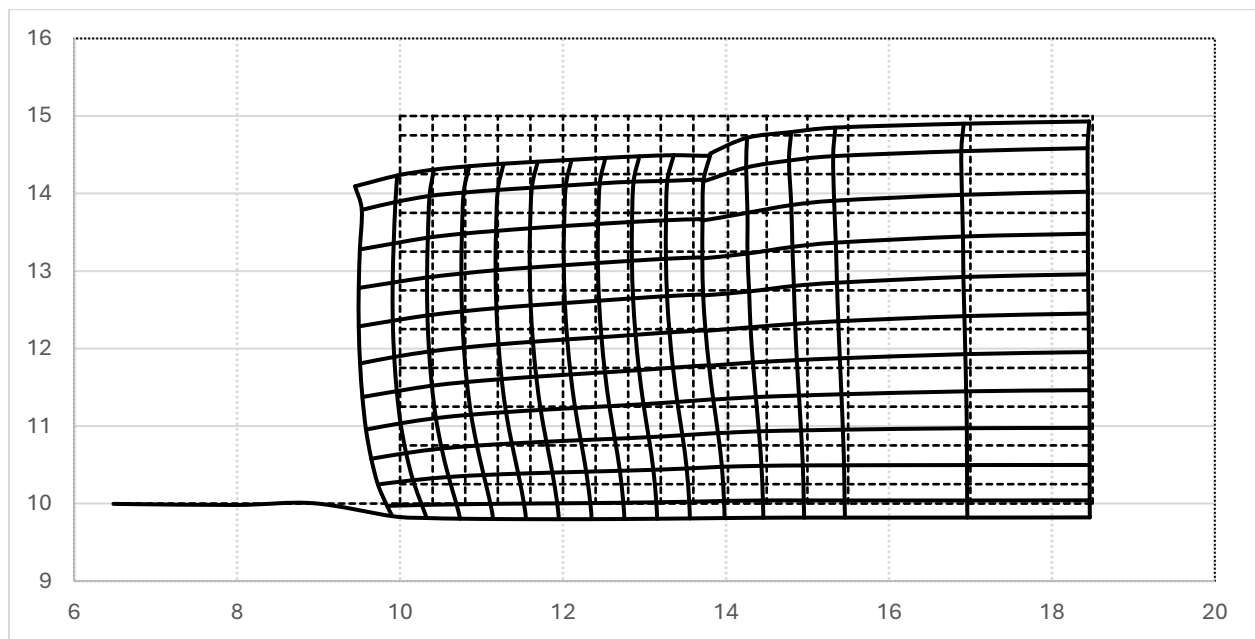


D120(TG_Q10_D120)

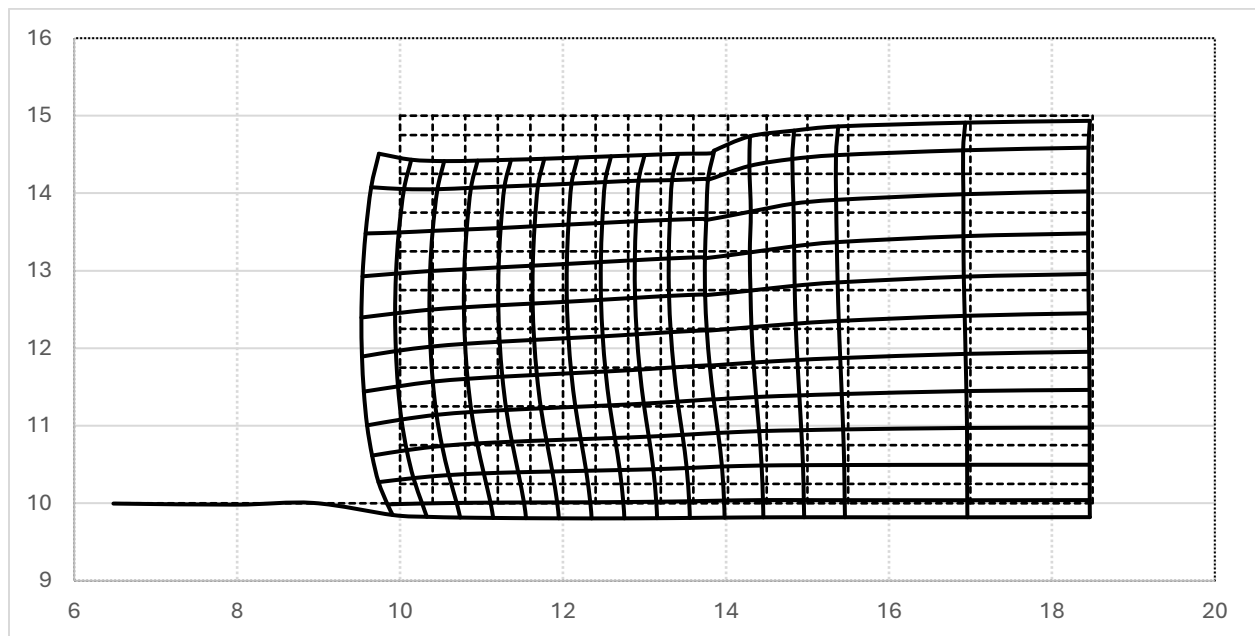


50kPa:

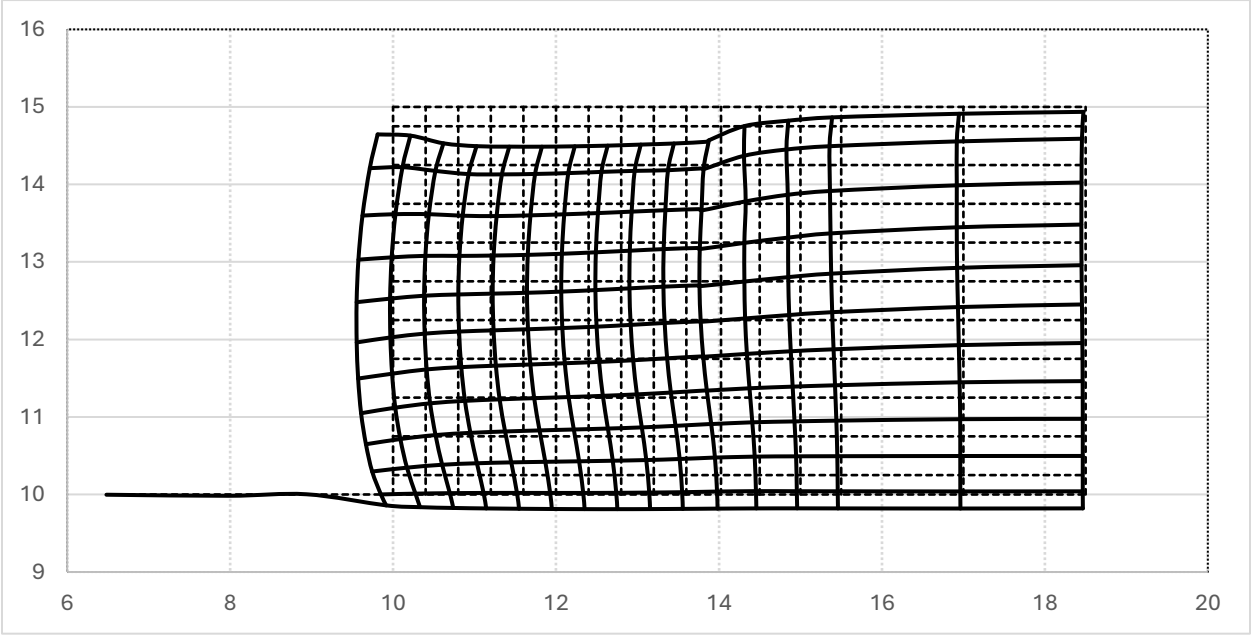
D0(TG_Q50_D0)



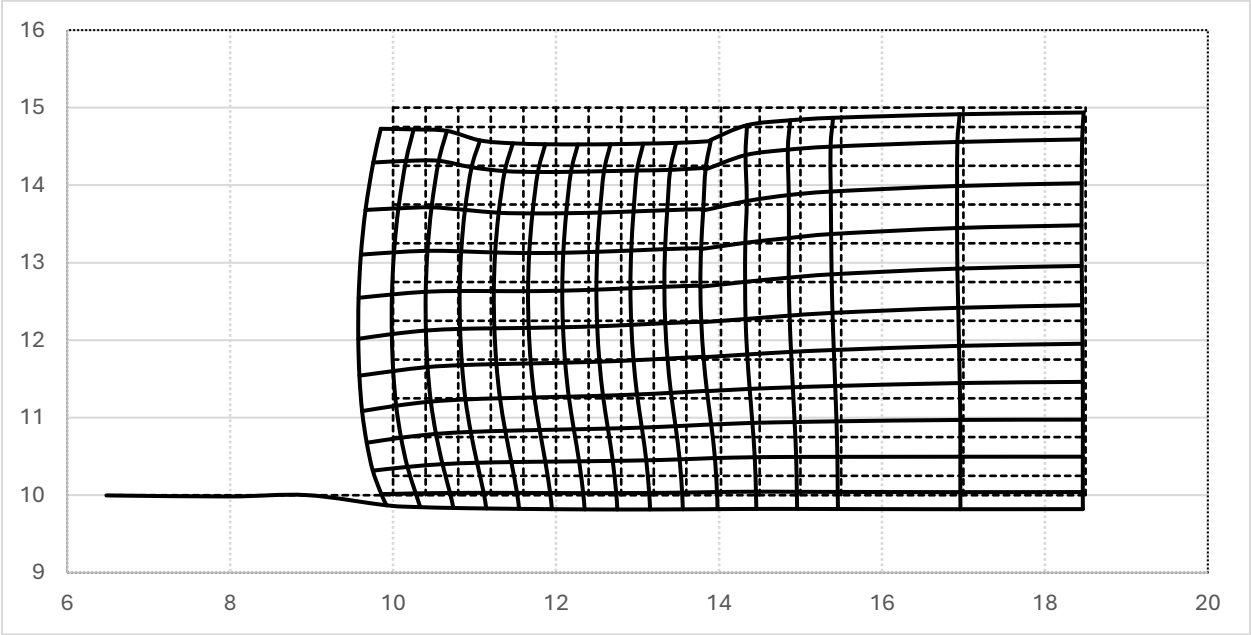
D40(TG_Q50_D40)



D80(TG_Q50_D80)

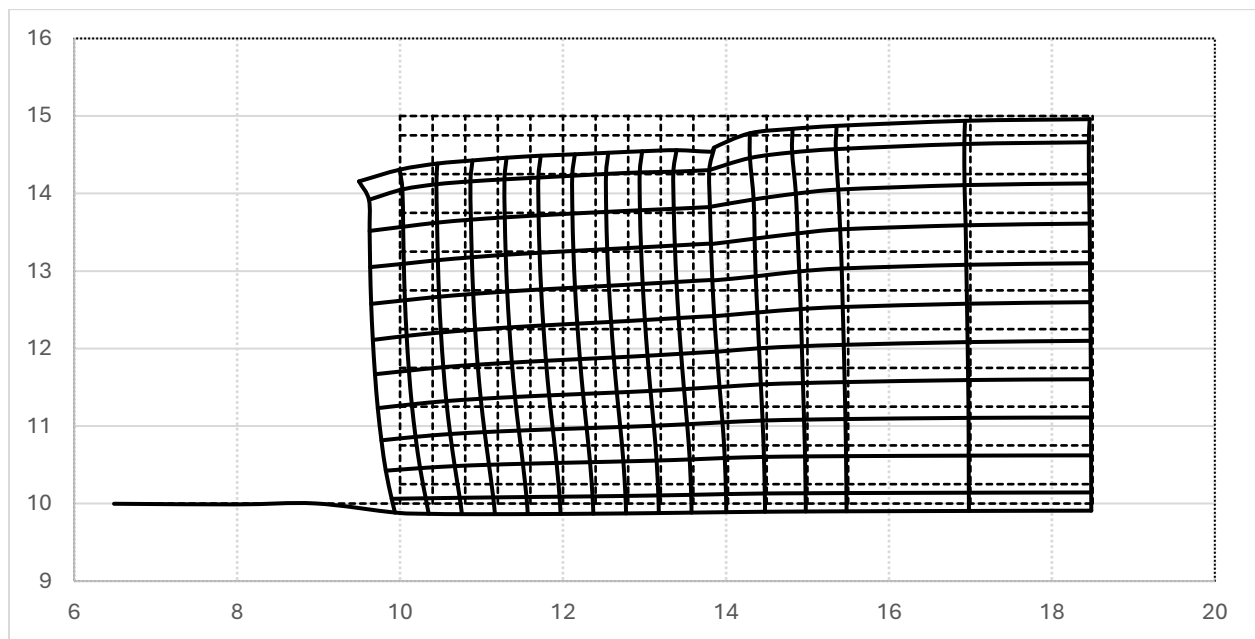


D120(TG_Q50_D120)

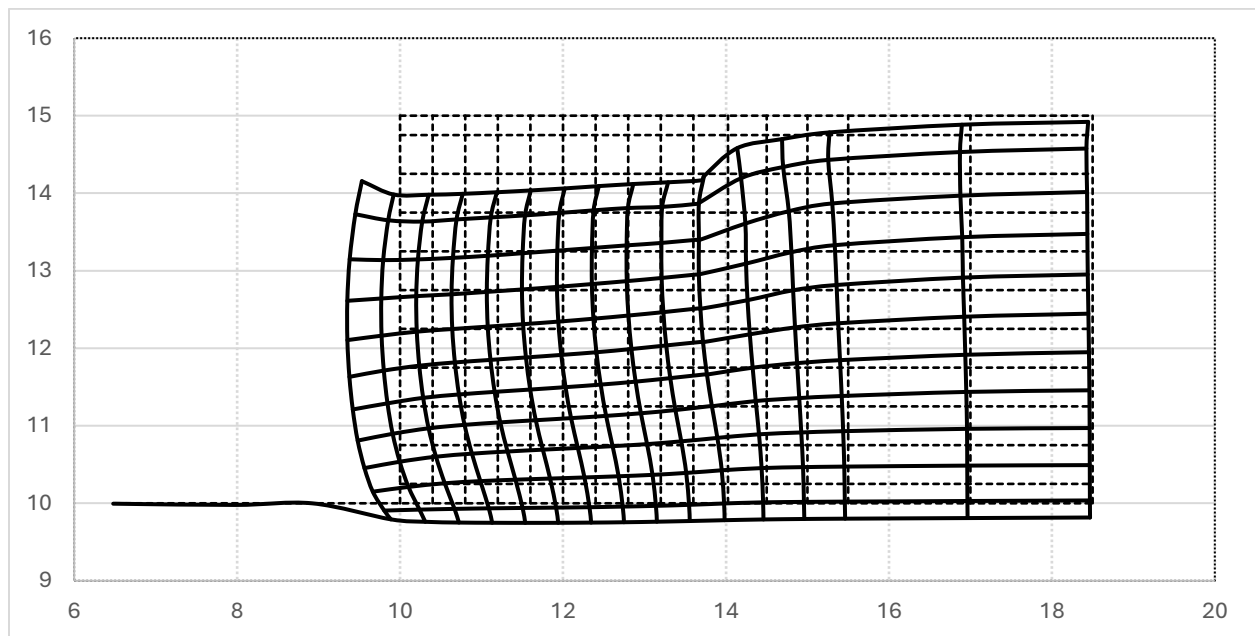


100kPa:

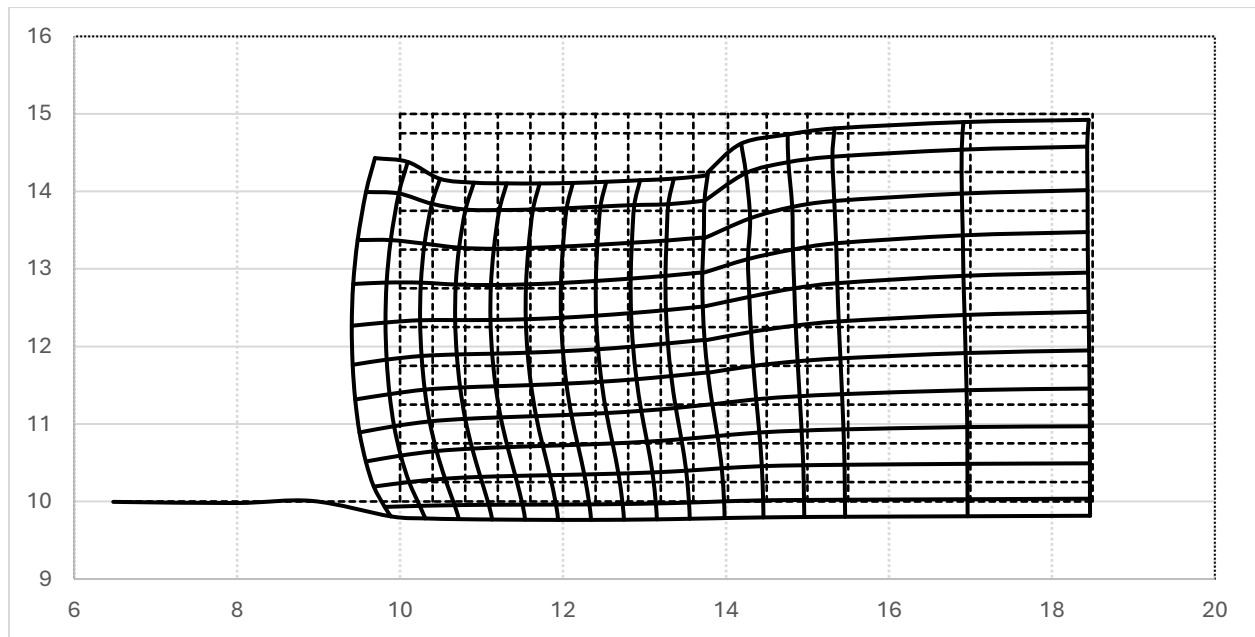
D0(TG_Q100_D0)



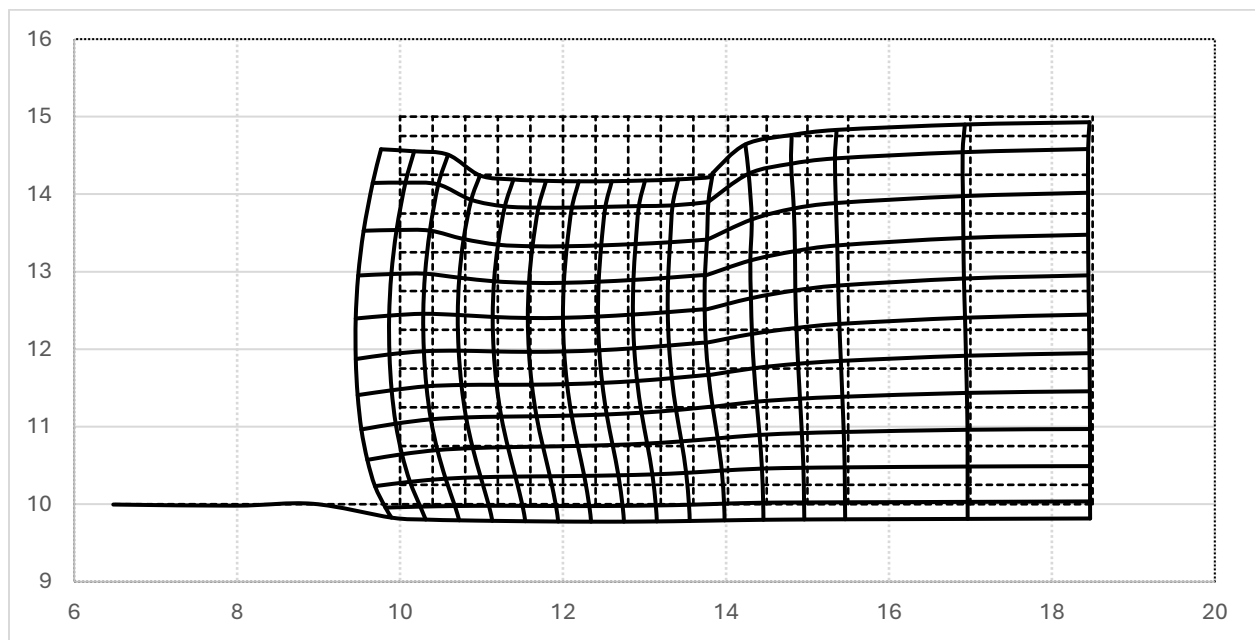
D40(TG_Q100_D40)



D80(TG_Q100_D80)



D120(TG_Q100_D120)

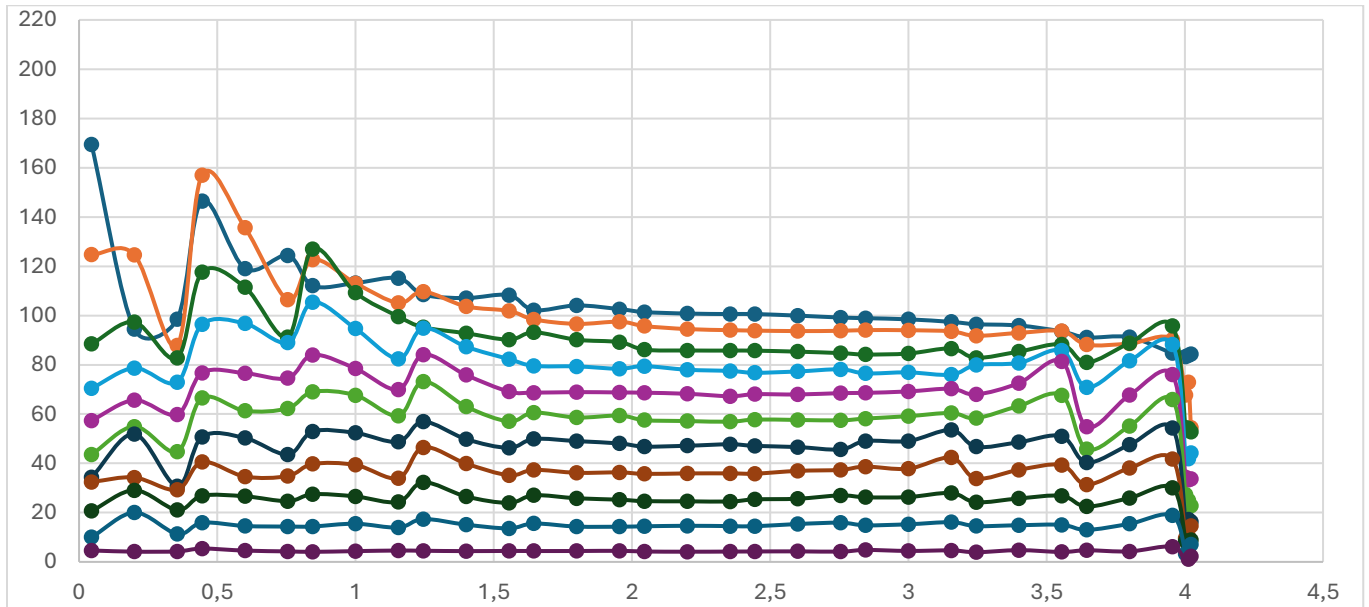


Todas as medidas estão em metros e todas as malhas estão representadas com um fator de ampliação de 10.

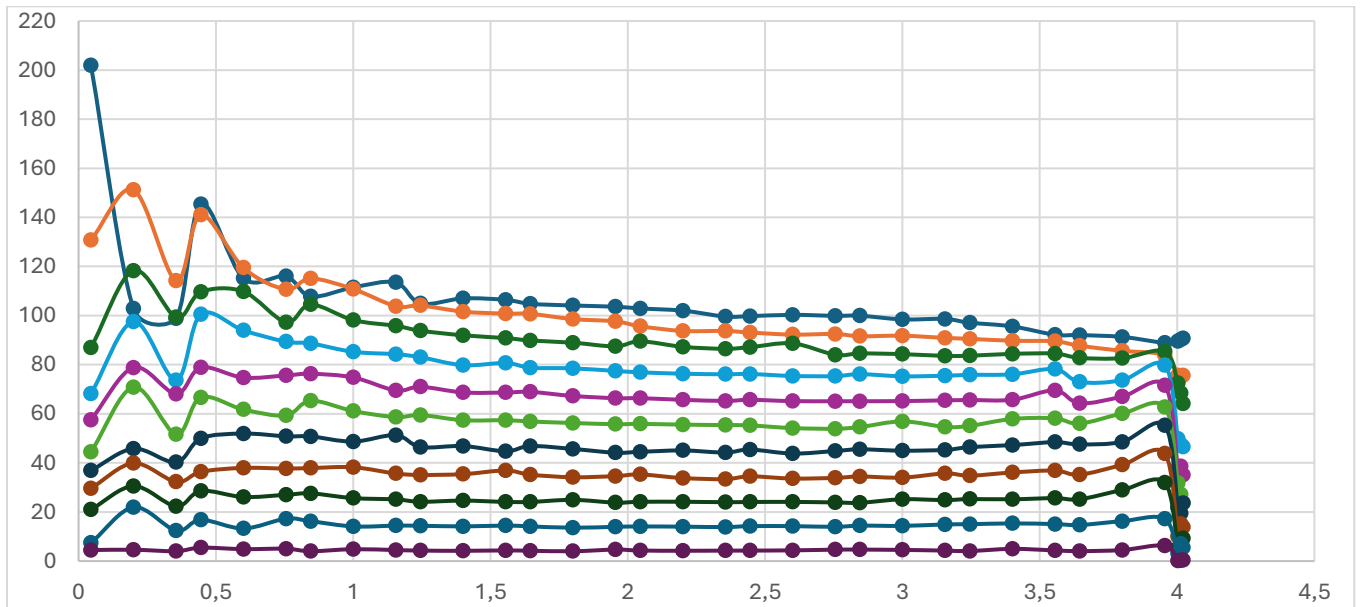
Apêndice C: Tensões Verticais

Aqui vou apresentar só uns exemplos, vamos entrar mais a fundo na discussão de resultados.

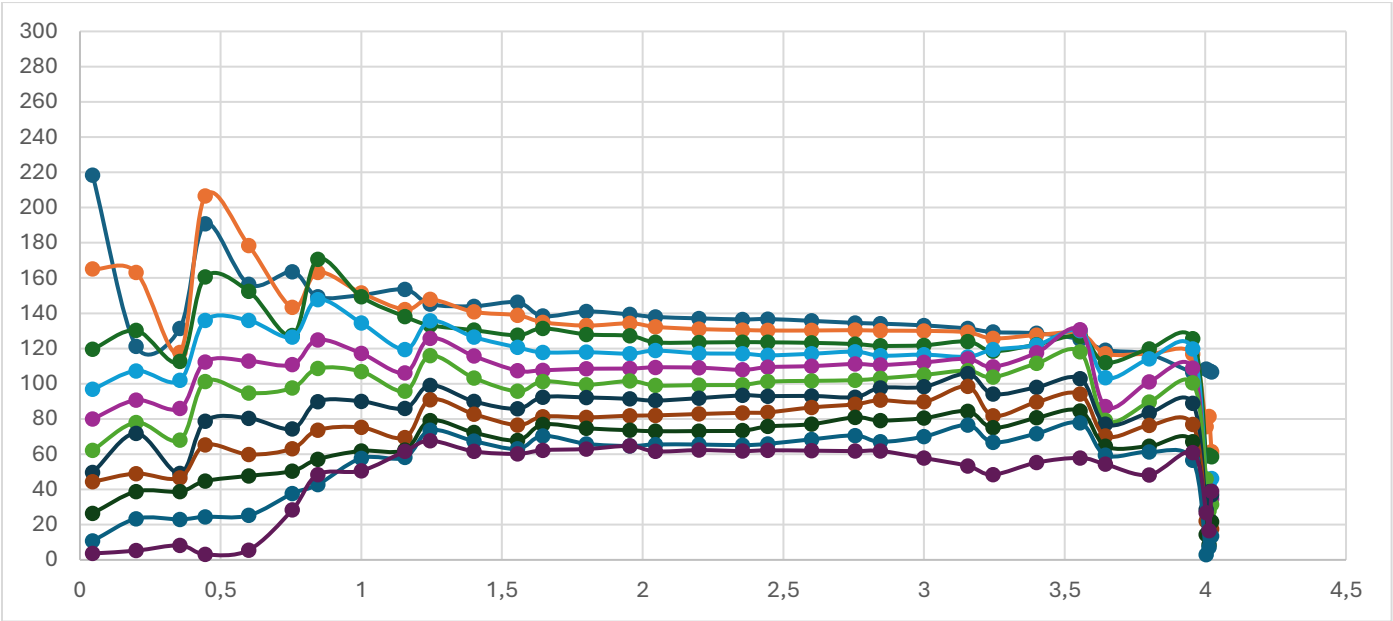
TM_C0



TG_C0



TM_Q50_D80



TG_Q50_D80

