

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Conhecendo o problema:

- 349 resultados de resistência a compressão;
- 181 resultados não conforme;
- 52% de não conformidade nos resultados de resistência;
- Menor resultado = 20,1 MPa;
- Resistência média das extrações ~ 19,5 MPa;
- 70 estacas com concreto não conforme.
- $f_{ck} = 30$ MPa

3

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Notas do projeto de fundações – 03/2021

ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO DAS ESTACAS TIPO HÉLICE-CONTÍNUA

CÓDIGO C-30

1. CONSUMO MÍNIMO DE CIMENTO: 400 kg/m³
2. ABATIMENTO OU SLUMP TEST IGUAL A 24±2cm
3. SLUMP FLOW ENTRE 60 a 75cm
4. TEOR DE AR INCORPORADO ≤ 3%
5. FATOR ÁGUA/CIMENTO ≤ 0,60
6. PEDRA 0 (4,75 / 12,50)
7. % DE ARGAMASSA EM MASSA ≥ 55% (MASSA DE CIMENTO + MASSA DOS AGREGADOS MIUDOS) * 100 / (MASSA DE CIMENTO+ MASSA DOS AGREGADOS MIUDOS + MASSA DOS AGREGADOS GRÁUDOS)
8. TRAÇO TIPO BOMBEADO
9. $f_{ck} \geq 30$ MPa OS 28 DIAS
10. EXSUDAÇÃO ≤ 4% DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA CONFORME A NBR 15558
11. SEGREGAÇÃO ≤ 5%
12. PODEM SER UTILIZADOS ADITIVOS PLASTIFICANTES

4

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Especificações ABNT NBR 6122 – 03/2022

O.9.1 O concreto deve atender ao disposto na Tabela 4 quanto às classes de agressividade I, II, III e IV, e observar as seguintes características:

- para o C30 abatimento entre 220 mm e 260 mm S 220, diâmetro de agregado de 4,75 mm a 12,5 mm e teor de exsudação inferior a 4 %;
- para o C40 abatimento entre 220 mm e 260 mm S 220, diâmetro de agregado de 4,75 mm a 12,5 mm e teor de exsudação inferior a 4 %.

O.9.2 Recomendações para dosagem destes concretos:

- para o C30, consumo mínimo de cimento de 350 kg/m³ e fator $a/c \leq 0,60$;
- para o C40, consumo mínimo de cimento de 350 kg/m³ e fator $a/c \leq 0,45$.

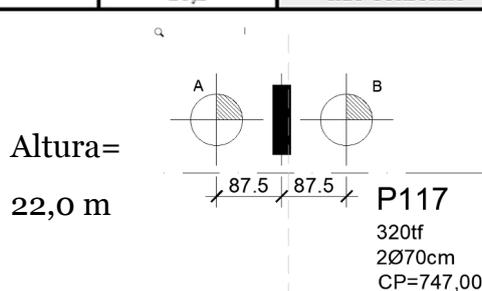
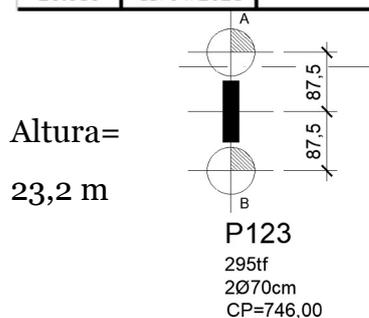
Caso o projeto fosse recente, o consumo mínimo de cimento estaria superestimado

5

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

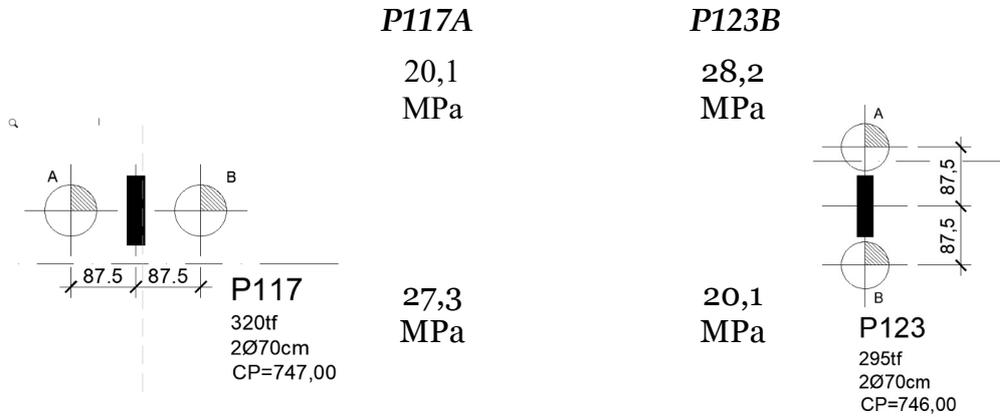
NF e elementos em análise

NF	Data de moldagem	Identificação Estacas	$f_{ck,est}$ (MPa)	Avaliação ABNT NBR 12655
26.602	13/04/2021	P104A/P117A	27,3	não conforme
26.612	13/04/2021	P117A/P123B	20,1	não conforme
26.616	13/04/2021	P123B	28,2	não conforme



6

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso



7

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Tabela 4 da ABNT NBR 6122:2019 – especificações estaca hélice

Tabela 4 – Estacas moldadas *in loco* e tubulões: parâmetros para dimensionamento

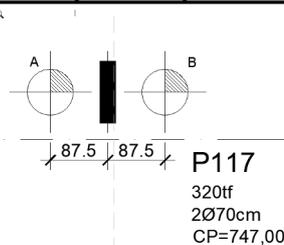
Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto/ resistência característica da argamassa ou concreto	γ_c	% de armadura mínima e comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco)		Tensão de compressão simples atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) MPa	Anexo onde se encontram definidos concreto/ argamassa
				Armadura %	Comprimento m		
Hélice/hélice de deslocamento/ hélice com trado segmentado ^a	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	N / O / P
	III, IV	C40	3,6				

8

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Extração de testemunhos

Identificação Testemunho	Data Extração	Nota fiscal	f_{ck} (MPa)	Elementos Concretados	Data do ensaio	$f_{ci,ext}$ (MPa)
03/04	14/05/2021 20/05/2021	26.612	30	Estaca P117A	24/05/2021	21,3 20,2



>20MPa

9

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

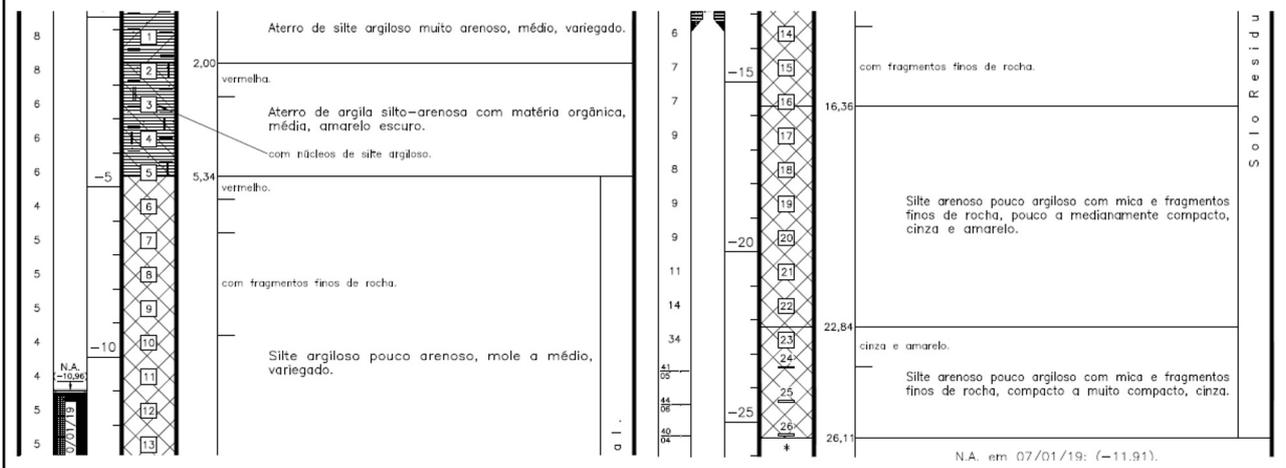
Levantar a carga atuante nas estacas:

- Através do mapa de carga, decompondo os esforços;
- Através da geometria da estaca e perfil do solo (Aoki-Velloso)

10

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

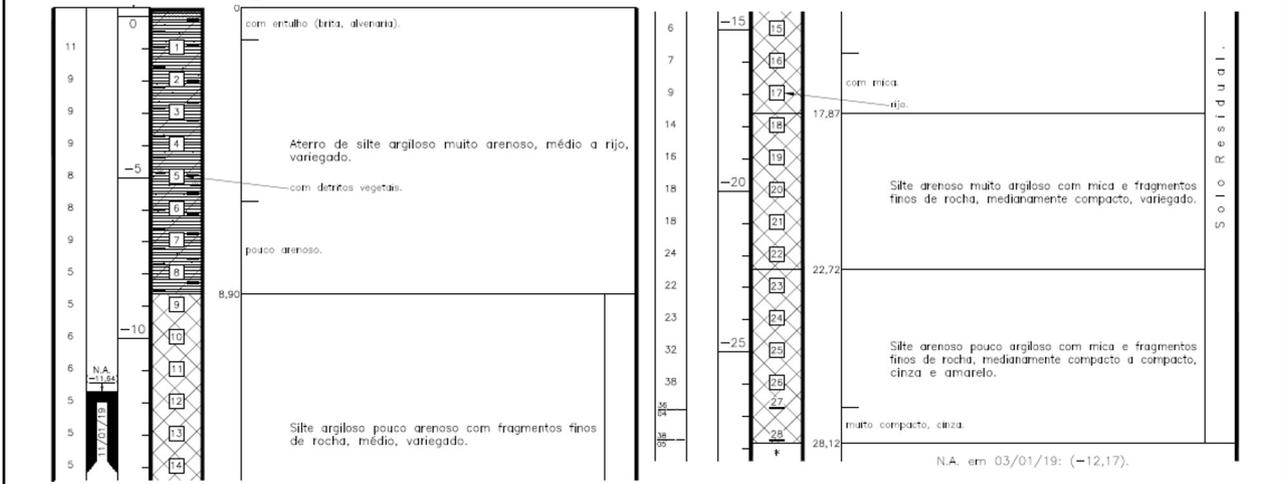
Perfil do solo para estaca P117A



11

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Perfil do solo para estaca P123B



12

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Estimativa da Capacidade de Carga de Elemento Isolado de Fundação por Estaca
Método Aoki-Velloso (1975)

Planilha de Dados da Sondagem

SONDAGEM			PARÂMETROS DO PERFIL DO TERRENO				SOLO			
L ESTACA (m)	N ₆₀	Código do Solo	K	α	q _c (kPa)	f _c (kPa)	CÓDIGO	K (kPa)	α	
1	8	231	250	0,03	2000	60	Areia	100	1000	1,4%
2	8	321	330	0,03	2640	79	Areia Siltosa	120	800	2,0%
3	6	321	330	0,03	1980	59	Areia Silto-argilosa	123	700	2,4%
4	6	321	330	0,03	1980	59	Areia Argilosa	130	600	3,0%
5	6	321	330	0,03	1980	59	Areia Argilo-Siltosa	132	500	2,8%
6	4	230	230	0,034	920	31	Silte	200	400	3,0%
7	5	230	230	0,034	1150	39	Silte Arenoso	210	550	2,2%
8	5	230	230	0,034	1150	39	Silte Areno-Argiloso	213	450	2,8%
9	5	230	230	0,034	1150	39	Silte Argiloso	230	230	3,4%
10	4	230	230	0,034	920	31	Silte Argilo-Arenoso	231	250	3,0%
11	4	230	230	0,034	920	31	Argila	300	200	6,0%
12	5	230	230	0,034	1150	39	Argila Arenosa	310	350	2,4%
13	5	230	230	0,034	1150	39	Argila Areno-Siltosa	312	300	2,8%
14	6	230	230	0,034	1380	47	Argila Siltosa	320	220	4,0%
15	7	230	230	0,034	1610	55	Argila Silto-Arenosa	321	330	3,0%
16	7	230	230	0,034	1610	55				
17	9	210	550	0,022	4950	109				
18	8	210	550	0,022	4400	97				
19	9	210	550	0,022	4950	109				
20	9	210	550	0,022	4950	109				
21	11	210	550	0,022	6050	133				
22	14	210	550	0,022	7700	169				
23	22	210	550	0,022	12100	266				
24	31	210	550	0,022	17050	375				
25	36	210	550	0,022	19800	436				
26	38	210	550	0,022	20900	460				
27	50	210	550	0,022	27500	605				
28	50	210	550	0,022	27500	605				

13

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

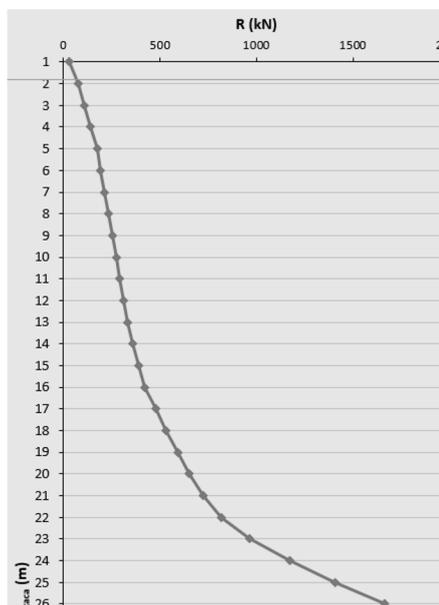
Estimativa da Capacidade de Carga de Elemento Isolado de Fundação por Estaca
Método Aoki-Velloso (1975)

Planilha de Dados da Estaca e Resultados

TIPO DA ESTACA		RESISTÊNCIAS					
Escavada		CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO ESTRUTURAL					
Geometria da Seção Transversal	Circular	L ESTACA (m)	R ₀ e L ₀ (m)	R ₀ (kN)	R ₀ acumulada (kN)	R ₀ (kN)	R (kN)
		1	33	33	508	541	
		2	44	77	381	458	
		3	33	109	381	490	
		4	33	142	381	523	
		5	33	174	352	541	
		6	17	192	221	413	
		7	21	213	221	434	
		8	21	235	221	456	
		9	21	256	177	433	
		10	17	273	177	450	
		11	17	291	221	512	
		12	21	312	221	533	
		13	21	334	266	599	
		14	26	359	310	669	
		15	30	389	310	699	
		16	30	420	952	1372	
		17	60	479	847	1326	
		18	53	533	952	1485	
		19	60	593	952	1545	
		20	60	652	1164	1817	
		21	73	726	1482	2207	
		22	93	819	2328	3147	
		23	146	965	3281	4246	
		24	206	1171	3810	4981	
		25	239	1411	4022	5432	
		26	253	1664	5292	6955	

14

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso



Perfil de resistência lateral para estaca P117A.

Descontando os 5 primeiros metros devido ao arrasamento, e considerando que a resistência de ponta é no máximo 20% da resistência lateral (boa prática), a carga resistente da estaca é 1870 kN (187 tf).

Para a P123B, 2180 kN (218 tf)

15

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Comparar esforços atuante com esforços resistente pela fórmula clássica:

$$f_{ck} = \frac{\sigma_{cd} \times \gamma_c}{0,85} \text{ (MPa)}$$

Sendo:

- f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto necessária em MPa;
- σ_{cd} : tensão admissível de projeto do concreto na estaca em MPa;
- γ_c : coeficiente de ponderação da resistência à compressão do concreto. De acordo com a Tabela 4 “Estacas moldadas in loco e tubulões: parâmetros para dimensionamento” da norma ABNT NBR 6122:2019 “Projeto e execução de fundações” esse valor é dado por: $\gamma_c = 2,7$.

Majorar a resistência extraída por 1,1 (ABNT NBR 6118:2014), cuidado deve ser tomado ao analisar extrações.

16

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua - estudo de caso

Estaca P117A

$$A_{estaca} = 70^2 \cdot \pi / 4 = 3848 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{cd} = 1870 \text{ kN} / 3848 \text{ cm}^2 = 4,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ck,min} = 4,9 \cdot 2,7 / 0,85 = 15,4 \text{ MPa}$$

$$15,4 \cdot 20\% = 3,10 \text{ MPa}$$

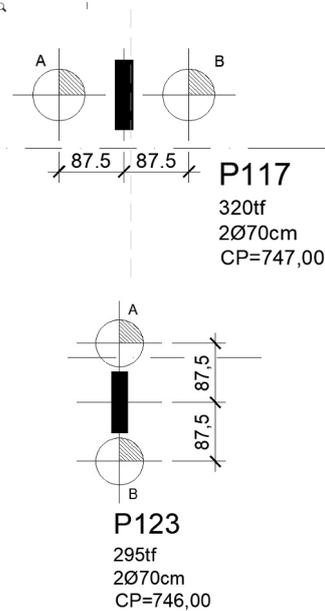
Estaca P123B

$$A = 3848 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{cd} = 2180 \text{ kN} / 3848 \text{ cm}^2 = 5,7 \text{ MPa}$$

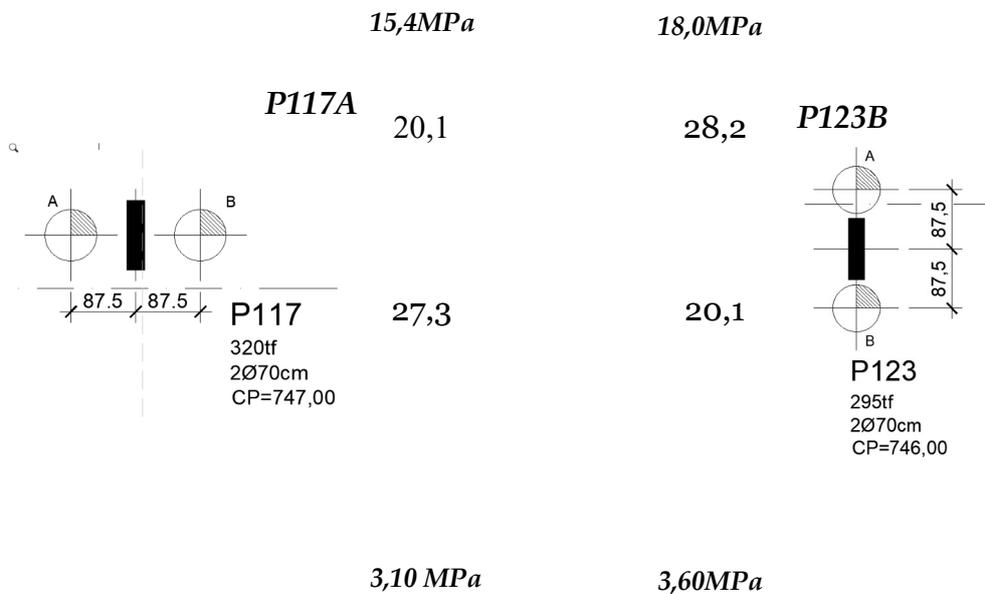
$$f_{ck,min} = 5,7 \cdot 2,7 / 0,85 = 18,0 \text{ MPa}$$

$$18,0 \cdot 20\% = 3,60 \text{ MPa}$$



17

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua - estudo de caso



18

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Comparando as resistências moldadas

Nº	Estacas tipo hélice contínua	f_{ck} mínimo necessário (MPa)*	$f_{ck,est}$ disponível (MPa)**	NF referente ao $f_{ck,est}$ disponível	Avaliação
18	P117A	15,4	20,1	26.612	atende
19	P123B	18,0	20,1	26.612	atende

Comparando a resistência extraída:

Nota fiscal	Elementos Concretados	$f_{ci,ext}$ (MPa)	$f_{ck,ext,seg}$ (MPa)	$1,1 * f_{ck,ext,seg}$ (MPa)	Tensão máxima na estaca tipo hélice contínua sem armadura σ_{cd} (MPa)*	Avaliação
26.612	Estaca P117A	21,3 20,2	20,8	22,9	4,9	atende

19

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Na maioria dos casos, a resistência de cálculo em estacas, e outros elementos de fundação, varia de 5,0 a 6,0MPa. Majorando esta resistência pelos coeficientes da ABNT NBR 6122:2019, temos um valor de f_{ck} entre 18,0 e 20MPa, mesmo assim se especifica concreto classe C30 específico para estaca hélice por questões executivas e de durabilidade.

Portanto, é recomendável, independente da análise de resistência, a execução de ensaio para análise de agressividade do solo de acordo com a ABNT NBR 12655:2022.

20

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Tabela 6 da ABNT NBR 12655:2022

Tabela 6 – Características para concreto exposto a soluções aquosas agressivas

Condições de exposição	pH ^a (ABNT NBR 16937-7)	CO ₂ agressivo mg/L (ABNT NBR 16937-5)	Íon magnésio mg/L (ABNT NBR 16937-3)	Íon amônia mg/L (ABNT NBR 16937-2)	Resíduo sólido mg/L (ABNT NBR 16937-4)	Sulfatos ppm (ABNT NBR 16937-6)	Máxima relação água/cimento ^a	Mínimo f _{ck} MPa
Fraca	7 a 6	< 30	< 100	< 100	> 150	< 150	Conforme a Tabela 2	Conforme a Tabela 2
Moderada	6 a 5,5	30 a 45	100 a 200	100 a 150	150 a 50	150 a 1 500	0,50	35
Severa	< 5,5	> 45	> 200	> 150	< 50	> 1 500	0,45	40

^a Propriedade adimensional.

NOTA Esta Tabela não é exaustiva e, para casos em que as soluções aquosas apresentem movimentação, temperatura elevada, maior mobilidade iônica, valores de pH diferentes ou outros, recomenda-se consultar a literatura técnica aplicável aceita pela comunidade tecnocientífica internacional, como as constantes na Bibliografia desta Norma.

21

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Resultados do solo para o estudo de caso

Amostra	pH	CO ₂ agressivo (mg/L)	Íon magnésio (mg/L)	Íon amônia (mg/L)	Resíduo sólido (mg/L)
30973	8,34	1,66	<50	0,650	47,22
30974	8,15	3,33	<50	1,188	44,24
30975	5,46	3,88	<50	0,801	43,59
Média	7,32	2,96	<50	0,880	45,02
Condição de Exposição	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca

22

Procedimento para análise de concreto não conforme em estacas hélice contínua – estudo de caso

Conclusões:

- Todas as estacas passaram na análise de resistência comparando resistências de corpos de prova moldado e extraído com as cargas atuantes de projeto;
- O ensaio de agressividade de solo demonstrou que não há necessidade de intervenção na estaca ou solo quanto a durabilidade dos elementos.

Recomendações:

- A extração de testemunhos em estacas deve ser evitado se possível, e se for o caso, prever extração alguns metros abaixo da cota de arrasamento afim de evitar região de exsudação;
- Executar ensaio de agressividade do solo;
- Adicionalmente poderia ter executado o ensaio de Massa específica, absorção e volume de vazios do concreto a partir de extrações.