



# Controle Tecnológico do Reaterro de Valas em Vias Urbanas com Emprego do Cone de Penetração Dinâmica - DCP, no Município de Novo Hamburgo/RS

Rodrigo Kuhn

Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, Brasil, rodrigo.kuhn@outlook.com

Glauber Candia Silveira

Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, Brasil, glaubersilveira@feevale.br

**RESUMO:** Com o desenvolvimento das cidades, a implantação de redes de infraestrutura subterrânea em vias urbanas, com a necessidade de abertura e reaterro de valas, tornou-se inevitável. Observa-se a necessidade de agilidade dos acompanhamentos tecnológicos dos reaterros de valas, especialmente quando se tem tráfego parcialmente interrompido devido às obras. A utilização do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) tem se mostrado vantajosa para agilizar e auxiliar nas liberações de campo. No estudo, foi executado o DCP como método complementar à utilização dos ensaios geotécnicos convencionais para avaliar a densificação e suporte de camadas compactadas do reaterro de valas do sistema de drenagem pluvial em algumas vias públicas no Centro Urbano de Novo Hamburgo/RS. Os resultados obtidos pelo DCP se mostraram bastante satisfatórios quando comparados aos valores de CBR, sendo pequenas discrepâncias atribuídas às variações de umidade do solo no momento do ensaio e a granulometria do material utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** DCP, Compactação, Reaterro, Valas, Controle Tecnológico.

## 1 INTRODUÇÃO

A compactação adequada das camadas de solos e materiais granulares é um requisito técnico necessário em diversas obras de engenharia, notadamente nos aterros rodoviários e de barragens, camadas estruturais de pavimentos, reaterros de muros de arrimo, entre diversas outras aplicações; neste cenário, merece destaque o reenchimento de valas abertas diariamente nas ruas das cidades (PINTO, 2006).

Os serviços de reaterros de valas em vias urbanas, necessários para implantação de redes e obras de infraestrutura subterrânea, quando mal executados, acabam contribuindo diretamente para o comprometimento dos pavimentos, em razão do aparecimento precoce de manifestações patológicas posteriores aos reaterros, tais como: trilhas de roda excessivas, ondulações,

solevamentos, trincas, buracos e degraus. Para evitar estes problemas e assegurar a garantia da qualidade dos reaterros, são necessários controles tecnológicos sistemáticos em toda a extensão das valas, com avaliação dos materiais utilizados e a determinação da capacidade de suporte *in situ*, ademais da verificação das metodologias de execução adotadas.

Em Novo Hamburgo/RS, assim como ocorre em diversas cidades brasileiras, os parâmetros para controle de qualidade nos serviços de compactação de solos, tanto de reaterro de valas quanto para aterros em geral e bases de pavimentos, são estabelecidos através de Boletins Técnicos e Cadernos de Encargos (NOVO HAMBURGO, 2010). Ocorre que o controle tecnológico dos serviços é realizado boa parte das vezes por conta do executor, obtendo-se, deste modo, apenas um único relatório de



informações e de ensaios, sem contrapontos, reservando-se à fiscalização de obras verificações pontuais “por amostragem”. Isto, de certa forma, pode resultar em deficiências de controles, podendo ensejar dúvidas quanto à resistência e densificação do material após a compactação.

Conhecer o efetivo desempenho das camadas de reaterros em valas é uma necessidade; porém, muitas vezes este não é avaliado devido à carência de controles tecnológicos, especialmente em pequenas obras de infraestrutura subterrânea, propiciando, com o passar do tempo, recalques de fundação e indesejáveis manifestações patológicas na pista de rolamento. Muitas vezes, também, as restrições de espaço na largura das valas, devido ao uso de equipamentos convencionais de compactação, dificultam o acesso a locais confinados (tais como cavas e valas), e acabam assim impossibilitando a execução de ensaios de controles convencionais da compactação.

## 2 A EXECUÇÃO DE VALAS E O DCP

### 2.1 Escavação de Valas em Vias Públicas

A abertura de valas em vias públicas já consolidadas pode ser uma tarefa complexa, em razão de inúmeras possibilidades de interferências com outros sistemas e redes de serviços anteriormente implantados, tais como: galerias e tubulações pluviais, redes de abastecimento de água, de esgoto e demais componentes dos sistemas de infraestrutura subterrânea das cidades, além dos pavimentos (Figura 1).

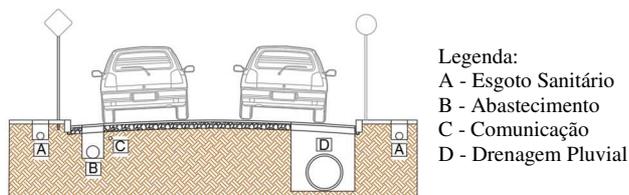


Figura 1. Sistemas de Infraestrutura Subterrâneos em Via Pública (KUHNS, 2019).

Durante o processo de escavação das valas,

pode-se encontrar materiais terrosos de diversas naturezas (solos argilosos e/ou lodosos, solos granulares, saibros e alterações de rochas, antigas estruturas de pavimentos, miscelâneas de solos de reaterros, etc.) e, ainda, a presença de lençol freático (STUCHI, 2005).

A escavação da vala deve ser executada de acordo com as dimensões da canalização e alguma folga lateral que possibilite o reaterro compactado, com segurança. Para diâmetros de tubulação até 0,80m, com solo resistente e profundidade inferior a 1,50m, é usual serem executadas escavações de valas sem escoramentos (Figura 2). Caso não se utilize escoramento lateral, a largura da vala na superfície do terreno poderá resultar avantajada (>2m), dependendo das dimensões da tubulação e da resistência do solo local (NOVO HAMBURGO, 2010).



Figura 2. Escavação de Vala em Via Pública, em Novo Hamburgo (KUHNS, 2019).

É recomendável que os materiais escavados, desde que prevista sua reutilização, sejam dispostos com afastamento de 1,0 m do bordo da vala e, sempre que possível, em somente um dos lados. Quando não houver o reaproveitamento do material escavado, este deverá ser destinado como bota-fora e substituído por outro material de melhor qualidade (GARCEZ, 2010).

### 2.2 Reaterro e Compactação de Valas

O reaterro de valas contendo redes consiste no enchimento do local anteriormente escavado,



com solo compactado em camadas, com pelo menos três segmentos ou faixas ao longo da altura do reaterro: faixa lateral à tubulação, faixa intermediária e faixa superior (camada final). Na Figura 3 indica-se de forma esquemática a disposição destas faixas.

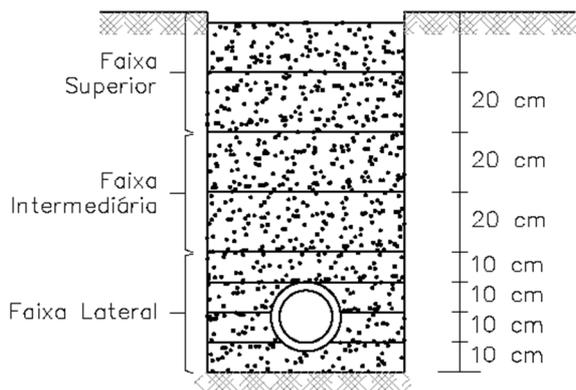


Figura 3. Seção Típica de Reaterro de valas. Adaptado de Stuchi (2005).

No reaterro de valas, as primeiras camadas, usualmente com areia, devem ter espessura de 10 cm (até pelo menos 10 cm acima da geratriz superior) e as demais espessura solta máxima de 20 cm. Algumas especificações exigem que a espessura máxima de camadas individuais compactadas na faixa intermediária e superior não ultrapasse 15 cm (DER-SP, 2006). Na compactação, são usados sapos mecânicos, placas vibratórias ou soquetes manuais, cuja eficiência será maior quanto menor for a espessura da camada.

O reaterro das valas é um procedimento importante, não só por influenciar diretamente na qualidade e desempenho da recomposição do pavimento (no topo da vala), mas também pela influência que exercerá sobre os carregamentos verticais que irão atuar sobre as tubulações, de maneira a se evitar sua ruptura e/ou eventuais danos.

Entende-se por compactação a operação de reduzir o índice de vazios do solo, comprimindo-o através de meios mecânicos ou manuais. Quanto à importância da compactação, análises revelam que os resultados alcançados após a compactação comprovam efeitos consideráveis

em termos de estabilização dos solos, e suas variações relacionam-se diretamente com as manifestações patológicas encontradas nos pavimentos (PINTO, 2006).

Assim, no reaterro de valas, somente devem ser utilizados solos com  $CBR \geq 2\%$  e expansão  $< 4\%$ , isentos de matéria orgânica, não se admitindo uso de materiais com qualidade inferior a do terreno adjacente. Em geral, nos controles tecnológicos convencionais dos reaterros (DER-SP, 2006), tomando-se por base o Proctor Normal, exige-se Grau de Compactação  $\geq 95\%$  e desvio de umidade entre  $- 2\%$  e  $+ 1\%$  (umidade de campo menos umidade ótima). Em determinadas situações, para a faixa superior e quando a largura da vala permite uso de rolos compactadores, por vezes exige-se até Grau de Compactação  $\geq 100\%$ .

### 2.3 Ensaio de Cone de Penetração Dinâmica

A utilização do DCP (Cone de Penetração Dinâmica) teve início na década de 50, na Austrália, conforme estudos realizados por Scala (TRICHÊS e CARDOSO, 1999, apud BERTI, 2005). Naquela oportunidade, foi desenvolvido um equipamento portátil, no qual foi dado o nome de *Scala penetrômetro*, que devido a mobilidade e facilidade de uso passou a ser utilizado em vários países, como ferramenta para projetos e avaliação da compactação das camadas de pavimentos (ALVES, 2002).

O *Scala penetrômetro* sofreu sua primeira modificação em 1969, onde Van Vuuren, no Zimbábue, realizou alterações no equipamento, apresentando correlações notáveis entre o ensaio DCP e o CBR, para avaliação da capacidade de suporte. Na Bélgica, em 1976, um equipamento similar foi utilizado por Kindermans, onde também foram obtidos excelentes resultados de correlação com o CBR. Na África do Sul, na província de Transvall, desde 1973, o Departamento de Estradas utiliza o DCP para medições e avaliações da resistência *in situ* das camadas de pavimentos (ALVES, 2002).

No Brasil, ainda não existe normatização para execução do ensaio de DCP. Os procedimentos e



métodos são norteados pela norma americana ASTM D-6951 (2015). Este documento é utilizado como base para pesquisas acadêmicas e, em âmbito nacional, serve de controle tecnológico nos serviços de compactação (BRITO E NOGUEIRA, 2017).

### 2.3.1 Tipos de Equipamentos DCP

Segundo Dal Pai (2005), o DCP de padrão Sul Africano é o equipamento com maior utilização no Brasil. Consiste em uma barra de aço com diâmetro de 16 mm e um cone metálico de 60° de abertura com 20 mm de diâmetro, sendo fixado na extremidade inferior da barra (Figura 4). Através de golpes sucessivos de martelo com massa de 8 kg que desliza em uma barra de 25 mm de diâmetro, o DCP é cravado no solo. O alcance de penetração do cone de 60° varia de 800 mm a 1000 mm abaixo da superfície. Para solos de baixa resistência, a ASTM D-6951 (2015) sugere alternativamente que se utilize martelo mais leve, com massa de 4,6 kg.

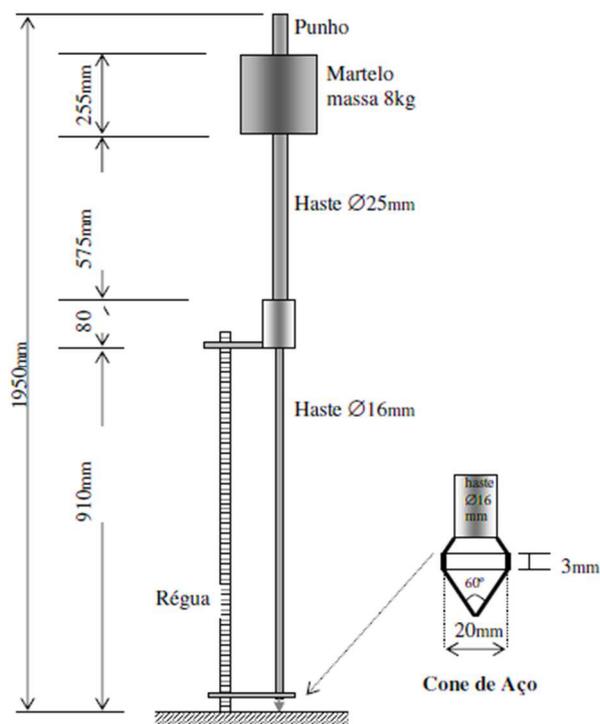


Figura 4. Cone de Penetração Dinâmica (DAL PAI, 2005).

### 2.3.2 Aplicações e Vantagens do DCP

Conforme Brito e Nogueira (2017), o ensaio tem sido empregado em obras de pavimentação e serviços de compactação de aterros para verificação da capacidade de suporte do solo (CBR). A obtenção de parâmetros em campo é sempre desejável, por apresentar resultados confirmatórios quanto às premissas estabelecidas em projeto e maior garantia da integridade das estruturas dos aterros e pavimentos, prolongando sua vida útil.

O DCP tem se mostrado um método útil no controle da qualidade da compactação, verificando inclusive as camadas inferiores sem a necessidade de destruir as camadas superiores. O método também pode ser utilizado para verificar o suporte de pavimentos já existentes ou ainda avaliar as propriedades dos mesmos durante sua execução (BERTI, 2005).

A ASTM D-6951 (2015) menciona que o DCP pode ser utilizado para avaliar a densificação dos materiais relacionando a densidade em função da taxa de penetração; assim, pode-se identificar facilmente os pontos fracos do material compactado *in situ*. Diversos estudos, conforme relatado por Alves (2020), foram realizados utilizando o DCP em vários tipos de materiais, especialmente em solos de diferentes naturezas e materiais granulares (areias sem pedras). A presença de pedregulhos é um fator limitante à cravação e pode danificar a ponta cônica.

### 2.3.3 Procedimentos do Ensaio DCP

A execução do DCP é um procedimento simples. Primeiramente, o equipamento é posicionado na vertical e então aplicam-se pancadas (golpes) sucessivas com o martelo de 8 kg, deslizando-o pela haste guia, fazendo com que a ponta seja cravada no solo a uma altura padronizada de 575 mm (FERNANDES, 2015). Porém, não é necessária a aplicação de forças contínuas sobre a haste de 16 mm; tampouco é possível alcançar uma velocidade constante de penetração; a única condição necessária é que o movimento da queda



seja livre de qualquer influência de forças externas (SCHLOGEL, 2015).

No ensaio, a penetração atingida é medida em milímetros a cada golpe do peso padrão, sendo conhecida como DPI (Índice de Penetração Dinâmica); porém, a terminologia mais utilizada no meio geotécnico é o DN (Índice de penetração). Durante o processo, mede-se com o auxílio de uma régua graduada a penetração no solo para determinados números de golpes que se seleciona arbitrariamente de acordo com a resistência das camadas (ALVES, 2002).

Na execução do ensaio, devem ser levados em conta alguns cuidados, tais como: a) averiguar a integridade do equipamento, verificando a sua limpeza, procurando manter sempre o cone em bom estado durante a realização do ensaio; b) deve-se manter o equipamento na direção vertical, afim de evitar qualquer diminuição de intensidade de penetração em função da perda de energia do contato entre o martelo e a barra; c) na aplicação das repetições dos golpes, o operador deve evitar o contato do martelo com a parte superior do equipamento, afim de evitar a movimentação ascendente do aparelho e perder a precisão do ensaio; d) a cada ensaio, deve-se verificar antes da inicialização do procedimento, o estado da ponta cônica, substituindo-a no caso de avarias (ALVES, 2002).

#### 2.3.4 Interpretação dos Resultados

A denominada curva DCP é constituída de uma representação do número de golpes acumulados em função da penetração da ponta cônica ao longo da profundidade. A Figura 5 mostra um exemplo típico da curva DCP de um ensaio (ALVES, 2002). O comportamento da curva, ou seja, a inclinação média de determinado segmento aproximadamente retilíneo, representa o índice de penetração (DN ou DPI, em mm/golpe). Quanto menor o valor da taxa DN (ou DPI), mais resistente será o material ou camada ensaiada, e vice-versa.

O diagrama estrutural é a representação derivada da curva DCP, onde o índice de penetração DN é também relacionado com a

profundidade, sendo o DN indicado nas abcissas e a profundidade nas ordenadas, conforme a Figura 6 (com mesmos dados da Figura 5).

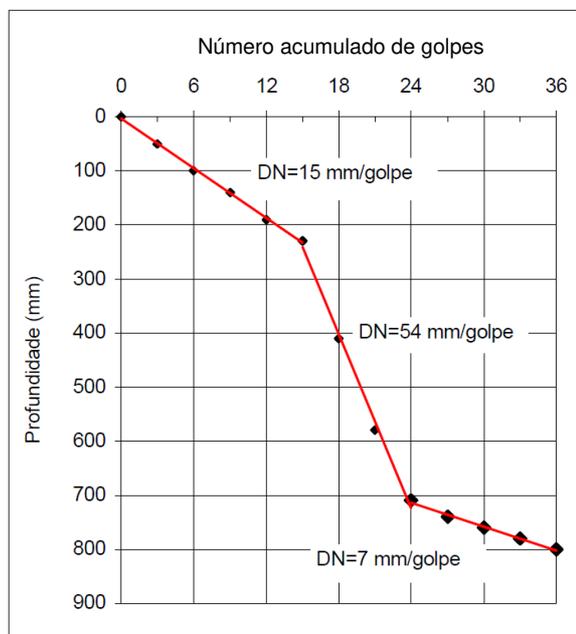


Figura 5. Exemplo de Curva DCP (ALVES, 2002).

Observando-se o diagrama estrutural é possível se distinguir a espessura, uniformidade e contraste da compactação em camadas distintas num mesmo perfil. Na Figura 6, com três camadas, a camada intermediária de espessura 480 mm, situada entre as profundidades de 230 e 710 mm, apresenta DN=54 mm/golpe, muito superior ao DN das camadas adjacentes. Uma mudança de comportamento do diagrama pode se dar pelas variações da textura do material, oscilações do teor de umidade e especialmente da densificação ou suporte da camada.

De posse de resultados como os mostrados na Figura 6, se tem a oportunidade de melhor avaliar o desempenho da compactação das camadas, num mesmo local, até profundidades de 80 cm. Isto raramente é possível de se obter nos controles tecnológicos de rotina nas obras, que além de mais demorados, usualmente são realizados em camadas alternadas, impossibilitando uma análise pontual e estrutural mais ampla.

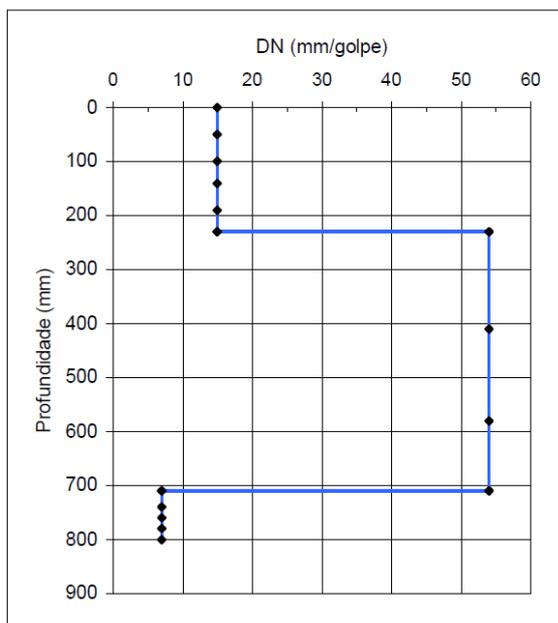


Figura 6. Diagrama Estrutural (ALVES, 2002).

### 2.3.5 Correlações entre DCP e CBR

De acordo com pesquisas realizadas por Berti (2005), existem várias análises desenvolvidas em diversos países, incluindo o Brasil, que buscam correlacionar o DN ou DPI (mm/golpe) com valores estimativos de CBR (%).

A Tabela 1 apresenta as correlações entre DCP e CBR, conforme a ASTM D-6951 (2015), para cada tipo de solo. No trabalho de Berti (2015) são encontradas diversas outras correlações, para vários tipos de solos.

Tabela 1. Correlações DCP e CBR (ASTM D-6951, 2015).

Correlação	Tipo de Solo
$CBR = 292 / DCP^{1,12}$	Todos*, exceto argilas com CBR<10
$CBR = 1 / (0,017019 \times DCP)^2$	Argilas de baixa compressibilidade com CBR<10
$CBR = 1 / (0,002871 \times DCP)$	Argilas de alta compressibilidade

\* Exceto argilas de baixa compressibilidade com CBR<10 e argilas de alta compressibilidade

No trabalho de Fernandes (2005) encontram-se traçadas curvas comparativas de diversas correlações entre DCP (DN) e CBR, conforme a Figura 7. Observa-se tipicamente que valores de

DN<20 mm/golpe resultam em CBR>10.

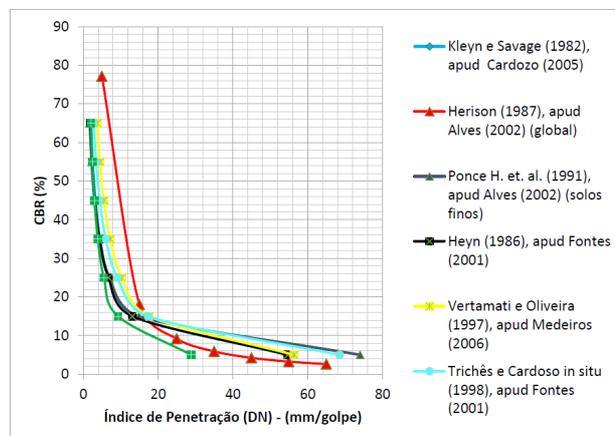


Figura 7. Correlações DN x CBR (FERNANDES, 2005).

Para que se obtenha resultados mais confiáveis, as correlações devem ser utilizadas para estimar valores de CBR levando-se em consideração a natureza e características do solo analisado, de forma a evitar-se suposições e resultados errôneos (BERTI, 2005).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Local do Estudo

Os estudos realizados no presente trabalho foram executados nas ruas centrais da cidade de Novo Hamburgo/RS. Entre os motivos relevantes para a seleção do local, destaca-se a execução de obras de requalificação do espaço urbano e das vias existentes, através de melhorias e readequações dos sistemas de infraestrutura como um todo. A abertura de valas se tornou necessária para implantação de diversos tipos de redes de serviços enterradas (tubulações de drenagem, redes de água e esgoto, fibra ótica, etc).

A Figura 8 mostra a localização da área estudada. No estudo realizado, foram consideradas exclusivamente as redes de drenagem pluvial, estando as mesmas implantadas no leito da pista de rolamento (Figura 1, dispositivo D).

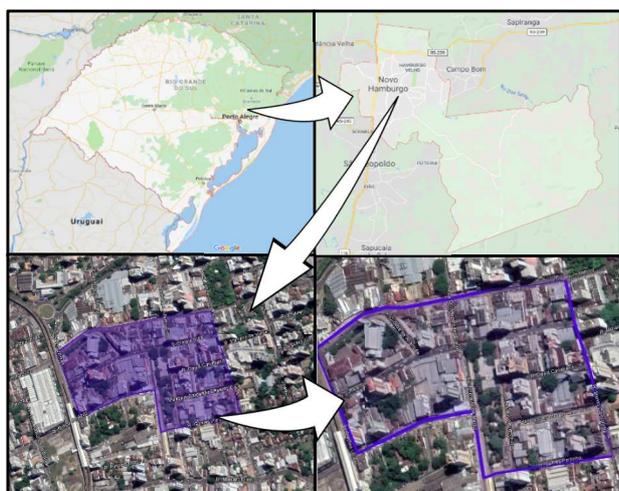


Figura 8. Localização área de estudo. Adaptado de Google Maps (2019).

A relação das ruas estudadas está apresentada na Tabela 2. As vias receberam renomeação através de uma sigla (A a F), visando simplificar a identificação por ocasião das análises.

Tabela 2. Ruas Estudadas.

Via Pública	Segmento	Sigla
Rua Cinco de abril	a (260 m)	A
Rua Lima e Silva	b (514 m)	B
Rua Joaquim Nabuco	c (532 m)	C
Rua Cidade de Atlântida	d (108 m)	D
Av. Primeiro de Março	e (240 m)	E
Av. Pedro Adams Filho	f (324 m)	F

Notas Explicativas dos segmentos:

- a- Av. Nações Unidas até Av. Primeiro de março
- b- Av. Nações Unidas até Av. Primeiro de março
- c- Av. Nações Unidas até Rua Cidade de Atlântida
- d- Rua Joaquim Nabuco até Rua Lima e Silva
- e- Rua Lima e Silva até Rua Largo Povo de Canelones
- f- Rua Largo Povo de Canelones até Rua Lima e Silva

Fonte: Kuhn (2019).

### 3.2 Ensaios Geotécnicos

Os ensaios de campo e laboratório foram executados conforme a programação e o desenvolvimento das obras, haja visto a necessidade de encontrar o serviço de reaterro já finalizado. As amostras para ensaios foram tomadas na camada final dos reaterros (topo das valas), entre 0,30 e 0,40m de profundidade. Todos os processos ocorreram mediante autorização e acompanhamento da fiscalização

de obras da Prefeitura de Novo Hamburgo, através da DOP/SEMOPUSU.

Os ensaios geotécnicos foram executados no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade FEEVALE, bem como pelo laboratório de controle tecnológico das obras. Foram seguidas as normas técnicas da ABNT, tendo sido executados os seguintes ensaios geotécnicos: granulometria por peneiramento, limites de plasticidade, Proctor Normal, CBR na energia PN, densidade de campo pelo método do frasco de areia e teor de umidade natural.

### 3.3 Ensaios DCP

Os ensaios DCP foram executados nos mesmos locais em que foram recolhidas amostras para ensaios geotécnicos de laboratório. Nos mesmos pontos, foram executados ensaios de densidade *in situ* e de determinação do teor de umidade natural. A Figura 9 apresenta a localização dos ensaios ao longo das valas, nas ruas analisadas.

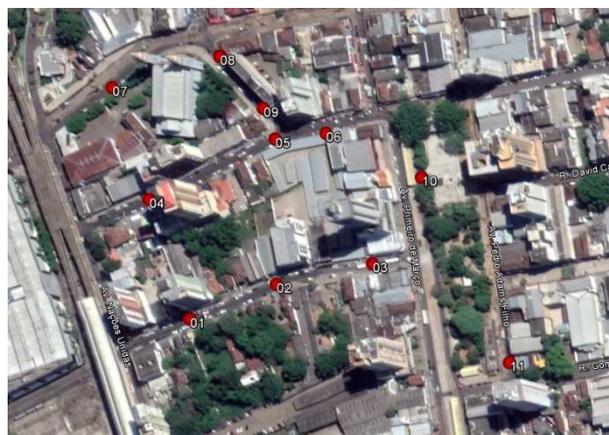
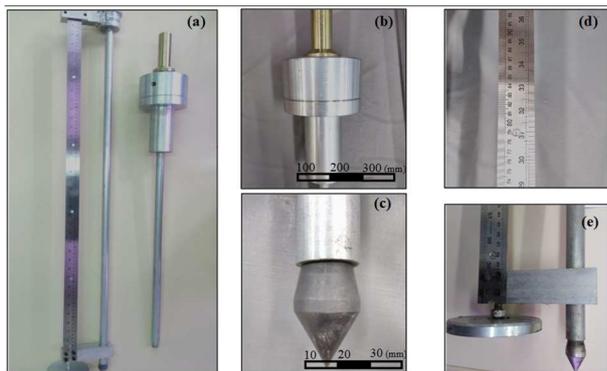


Figura 9. Localização dos Ensaios Geotécnicos e DCP (Google Earth, 2019).

O equipamento DCP utilizado consistiu no cone de penetração dinâmica de padrão Sul Africano, com martelo de 8 kg, cone de 60° e abertura de 20 mm de diâmetro, conforme mostrado na Figura 10.



(a) Equipamento DCP  
 (b) Martelo 8 kg  
 (c) Ponta cônica 20mm 60°  
 (d) Régua graduada 100cm  
 (e) Base e suporte da haste

Figura 10. Equipamento DCP (KUH, 2019).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização Geotécnica dos Solos

Os resultados da caracterização geotécnica dos solos utilizados nos reaterros das valas estão mostrados nas tabelas a seguir. Na Tabela 3, apresentam-se resultados das análises granulométricas indicando que os materiais são predominantemente arenosos, com pequena parcela de silte+argilas (porcentagem passante na peneira nº 200 variou entre 10% e 28%). Foram enquadrados tipicamente como saibros.

Tabela 3. Granulometria do Material do Reaterro.

Ruas	Identificação da amostra		% Passante por Peneira							Tipo de solo	
	DCP	Lab.	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200		
A	-	EN-02	100	99,3	95,9	78,4	59,1	55,5	19,6	Saibro	
B	-	EN-06	-	100	96,1	79,3	65,8	37,2	28	Saibro	
C	P-07	EN-09	-	-	100	84,2	84,7	75,2	17,1	Saibro	
D	P-08	EN-10	-	-	100	84,1	84,4	70,8	10	Saibro	
D	P-09	EN-11	-	-	100	83	82,6	69,1	10,5	Saibro	
E	P-10	EN-12	-	-	100	98,4	83,2	66,5	71,3	13,8	Saibro
E	-	EN-13	-	-	100	99,3	84	67,9	72,2	14,3	Saibro
F	P-14	EN-14	-	-	100	83,9	84,3	73,6	12,3	Saibro	

Na Tabela 4 apresenta-se o resumo dos demais ensaios de laboratório que mostram solos sem plasticidade, densidades máximas de compactação superiores a 1,817 g/cm<sup>3</sup>, umidade ótima entre 12,0% e 17,3%, CBR entre 16% e 25% e expansão não superior a 0,70%. Pela

classificação HRB, mais de 78% das amostras foram enquadradas no Grupo A-1-B.

Tabela 4. Resumo dos Ensaios de Laboratório.

Local	Identificação da amostra		Prof. (m)	IP (%)	Laboratório				Class. HRB
					Compactação Proctor Normal		Índice de Suporte		
	DCP	LAB.			D.Máx (g/cm <sup>3</sup> )	Hót (%)	CBR (%)	Exp. (%)	
A	P-01	EN-01	0,38	0	1,835	13,2	20	0,02	A-1-B
A	-	EN-02	0,40	0	1,965	14,0	25	0,10	A-1-B
A	P-02	EN-03	0,37	0	1,888	12,6	21	0,02	A-1-B
A	P-03	EN-04	0,37	0	1,834	12,6	16	0,02	A-1-B
B	P-04	EN-05	0,38	0	1,875	17,3	18	0,02	A-1-B
B	-	EN-06	0,36	0	1,933	14,9	21	0,04	A-1-B
B	P-05	EN-07	0,35	0	1,953	13,5	17	0,02	A-1-B
B	P-06	EN-08	0,37	0	1,960	13,3	19	0,02	A-1-B
C	P-07	EN-09	0,35	0	1,871	15,9	22	0,34	A-2-4
D	P-08	EN-10	0,36	0	1,855	14,3	21	0,70	A-3
D	P-09	EN-11	0,37	0	1,886	12,6	20	0,26	A-3
E	P-10	EN-12	0,38	0	1,888	12,0	19	0,10	A-1-B
E	-	EN-13	0,40	0	1,942	14,6	22	0,48	A-1-B
F	P-11	EN-14	0,37	0	1,871	15,9	22	0,34	A-1-B

Um resumo do controle tecnológico da compactação de campo está mostrado na Tabela 5. Observa-se que o Grau de Compactação variou entre 97,8% e 102,7%, com desvios de umidade entre -4,3% e +0,3% (umidade de campo menos umidade ótima). Em linhas gerais, pode-se dizer que os materiais foram compactados de forma satisfatória, embora ligeiramente abaixo da tolerância quanto à variação da umidade, o que pode ser explicado pelo tempo de exposição ao ar da camada superior ensaiada.

Tabela 5. Resumo dos Ensaios de Campo.

Local	Identificação da amostra		Prof. (m)	Controle de compactação (campo)			
	DCP	LAB.		Densidade de Campo (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade de Campo (%)	Desvio de umidade (%)	Grau de Compactação (%)
A	P-01	EN-01	0,38	1,819	10,7	-2,5	99,1
A	-	EN-02	0,40	2,001	13,8	-0,2	101,8
A	P-02	EN-03	0,37	1,847	10,9	-1,7	97,8
A	P-03	EN-04	0,37	1,817	11,4	-1,2	99,1
B	P-04	EN-05	0,38	1,918	12,1	-5,2	102,3
B	-	EN-06	0,36	1,955	14,2	-0,7	101,2
B	P-05	EN-07	0,35	1,966	10,7	-2,8	100,7
B	P-06	EN-08	0,37	1,982	9,0	-4,3	101,1
C	P-07	EN-09	0,35	1,919	13,7	-2,2	102,5
D	P-08	EN-10	0,36	1,905	13,4	-0,9	102,7
E	-	EN-13	0,40	1,908	14,9	0,3	98,2
F	P-11	EN-14	0,37	1,873	15,5	-0,4	100,1



#### 4.2 Curvas DCP e os Diagramas Estruturais

Na Figura 11 estão apresentados os resultados dos ensaios DCP realizados. Observa-se que os resultados no P-11 (curva mais à direita) são significativamente melhores, enquanto os resultados no P-01 (curva mais à esquerda) são indicativos de solos menos resistentes.

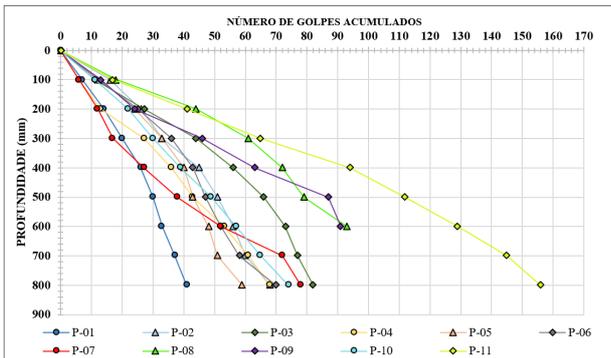


Figura 11. Curvas DCP nas Ruas Estudadas (KUH, 2019).

Na Figura 12 mostra-se com mais detalhe os resultados no local P-01, com duas camadas típicas: uma com DN=15,4 mm/golpe e outra com DN=26,7 mm/golpe.

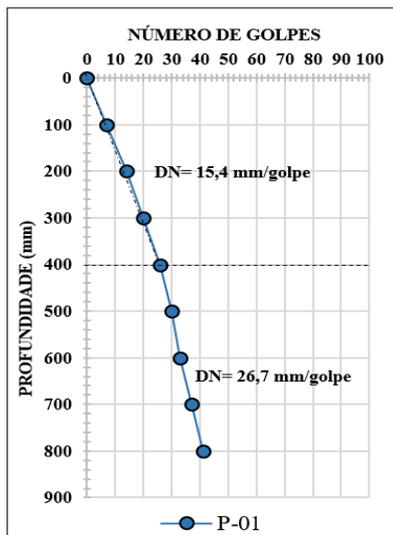


Figura 12. Curva DCP para o local P-01 (KUH, 2019).

A partir destas análises foram definidos os diagramas estruturais, conforme a Figura 13. Observa-se a segmentação das camadas e sua variação com a profundidade em cada local.

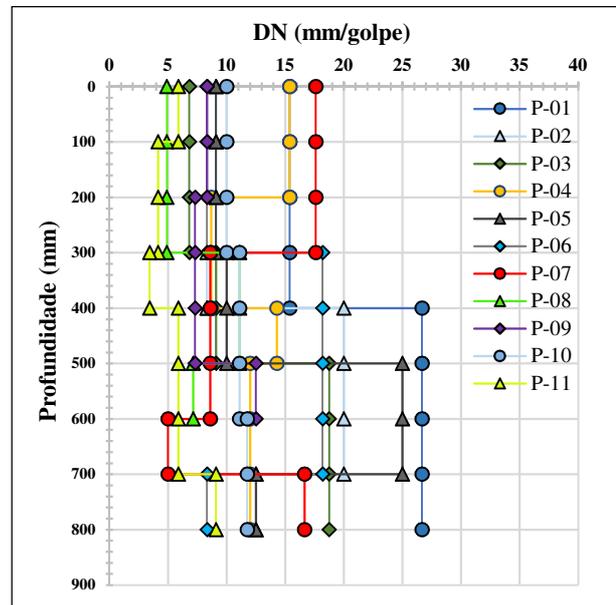


Figura 13. Diagrama Estrutural dos Pontos P-01 a P-11.

#### 4.3 Relação DN x CBR

Tendo por base os diagramas estruturais e as correlações da ASTM D-6951 (2015), foram estimados os valores de CBR (Figura 14).

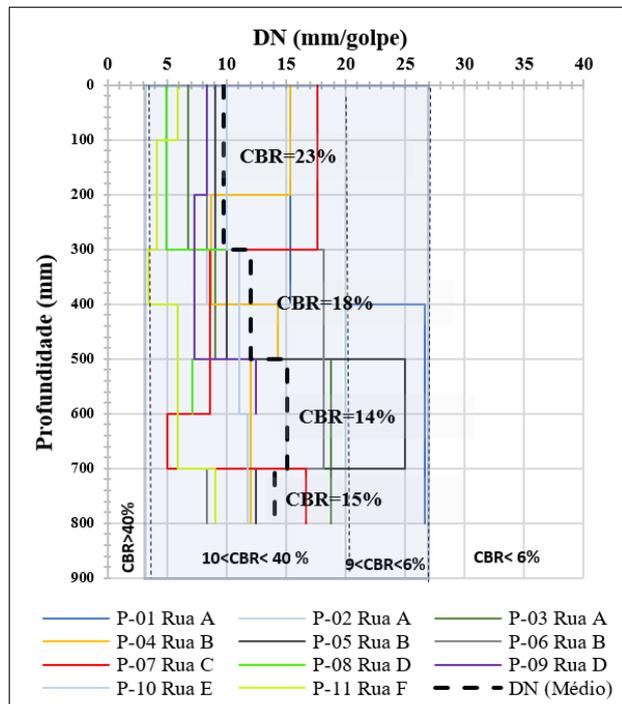


Figura 14. Estimativa do CBR a partir do DN para os locais estudados (Ruas A F).



Foram obtidos resultados de CBR entre 40% e 6%, com tendência de diminuição do CBR com o aumento da profundidade. As camadas superficiais do topo dos reaterros apresentaram CBR médio de 23%, valor este muito próximo dos resultados dos ensaios de CBR de laboratório (Tabela 4). Tais resultados se mostraram coerentes com a correlação utilizada.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização do DCP se revelou uma metodologia bastante ágil e rápida para avaliação da qualidade, espessuras de camadas e condições da densificação do solo utilizado no reaterro de valas em vias públicas. Os resultados de CBR, estimados pelas correlações da ASTM D-6951, se mostraram adequados e coerentes com os valores obtidos em ensaios de laboratório. Pequenas variações nas estimativas do CBR foram atribuídas às oscilações de umidade do solo no momento do ensaio e a granulometria do material utilizado nos reaterros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido da Prefeitura de Novo Hamburgo, através engenheiros civis Leandro, Rosnei e Valdirene da DOP/SEMOPSU, e também ao Laboratório de Mecânica dos Solos da FEEVALE.

## REFERÊNCIAS

- Alves, A.B.C. (2002) *Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 171 p.
- American Society for Testing and Materials (2015), ASTM D-6951: Standart Test Method for Use of Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pevement Applications. West Conshohocken, PA, USA, 7p.
- Berti, C. (2005) *Avaliação da Capacidade de Suporte de Solos "in situ" em Obras Viárias através do Cone de Penetração Dinâmica – Estudo experimental*, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 122 p.
- Brito, M.A. e Nogueira, M.L. (2017), Uma Revisão Bibliográfica sobre a Utilização do Ensaio de DCP como Ferramenta de Controle de Qualidade da Compactação em Obras de Pavimentação, IX Seminário de Engenharia Geotecnia do Rio Grande do Sul *GEORS 2017*. Caxias do Sul. p. 361-371. Disponível em <  
<https://www.ufrgs.br/site/midia/arquivos/anais-GEORS-2017.pdf>>. acesso em 08/03/2019.
- Dal Pai, C.M. (2005) *Investigação de Vias Urbanas Empregando o Método das Pastilhas e o Penetrômetro Dinâmico de Cone – DCP*, Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 253 p.
- DER-SP (2006), Reaterros – Especificação Técnica, ET-DE-H00/004, Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, São Paulo, 7 p.
- Fernandes, R. (2015), *Desenvolvimento de Correlação entre os Ensaios DCP e CBR. Estudo de Caso: Pista de Testes, UFSC-Joinville*, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Curso de Graduação em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville/SC, 80 p.
- Garcez, A.C. (2010) *Contribuição para Melhoria do Desempenho dos Pavimentos Urbanos Através do Controle de Qualidade do Reaterro de Valas de Serviços Concessionados*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 228 p.
- Kuhn, R. (2019), *Utilização do Método DCP para Controle do Reaterro de Valas em Vias Públicas no Município de Novo Hamburgo/RS*, Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo/RS.
- Novo Hamburgo (2010). Boletim Técnico: Obras em Vias Públicas, Drenagem pluvial, Pavimentação e Sinalização, SEMOPSU, disponível em [https://servicos.novohamburgo.rs.gov.br/arquivos/File/boletim\\_tecnico/Boletim\\_Tecnico\\_revisao\\_01\\_12\\_10.pdf](https://servicos.novohamburgo.rs.gov.br/arquivos/File/boletim_tecnico/Boletim_Tecnico_revisao_01_12_10.pdf), acesso em 08/03/2019.
- Pinto, C.S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, 3ª ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, 367 p.
- Schlogel, C.V. (2015), *Uso do DCP para Avaliação do Grau de Compactação de um Solo na Região Oeste de Curitiba-PR*, Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Superior em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR.
- Stuchi, E.T. (2005) *Interferências de Obras de Serviços de Água e Esgoto sobre o Desempenho de Pavimentos Urbanos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 138 p.