

# ICEUBI

International  
Congress  
on Engineering  
2024



**Sustainability  
and Resilience:  
Innovation and  
Solutions**



**27, 28 e 29 nov**

Universidade da Beira Interior  
Covilhã | Portugal

<https://iceubi2024.pt/>



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS



**November 2024 | Covilhã – Portugal**

Info: [www.iceubi2024.pt](http://www.iceubi2024.pt)

**Proceedings of the International Congress on  
Engineering UBI – ICEUBI2024 - *Sustainability and  
Resilience: Innovation and Solutions***

**University da Beira Interior**

27<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> of November 2024 | Covilhã, Portugal

**Edited by**

Marisa Dinis de Almeida, PhD and Francisco Brójo, PhD

**IMAGEM CAPA | DESIGN**

Madalena Sena, PhD

**PAGINAÇÃO**

Dra. Andreia Alves | Faculdade de Engenharia da UBI

Copyright to the authors, 2024. All Rights Reserved.

No reproduction, copy or transmission are allowed without written permission from the individual authors.

Abstracts, and Full Papers were read and selected by Review Committee of the ICEUBI2024.

All manuscripts went through a double peer review process to be presented at the Congress.

Further copies of these proceedings can be consulted at: [www.iceubi2024.pt](http://www.iceubi2024.pt)

**DOI:**

**ISBN:** 978-989-9239-05-0

**SUPPORT:** ELECTRONIC | **FORMAT:** PDF

**EDITOR:** UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR – FACULDADE DE ENGENHARIA

**PUBLISHER:** UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR – FACULDADE DE ENGENHARIA

CALÇADA DA FONTE DO LAMEIRO, 6200-358 COVILHÃ, PORTUGAL

# ICEUBI2024

*“Sustainability and Resilience: Innovation and Solutions”*





## ESTABILIZAÇÃO DO SOLO COM CIMENTO DE UMA ESTRADA DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

PESSOA, JOSÉ MARCOS (1); MINHOTO, MANUEL JOAQUIM (2); PAULA, ANTÓNIO MIGUEL (3)

(1) INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, EMAIL: a39520@alunos.ipb.pt

(2) INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, EMAIL: minhoto@ipb.pt

(3) INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, EMAIL: mpaula@ipb.pt

ENDEREÇO DE CORRESPONDÊNCIA: josemarcostp@hotmail.com

### RESUMO

A análise estrutural é vital para compreender o comportamento do solo e essencial tanto no dimensionamento das camadas de pavimentos quanto na escolha dos melhores processos de reabilitação para solos específicos, além de prever e prevenir patologias. A determinação da capacidade estrutural dessas camadas pode ser realizada por meio de ensaios *in situ*, que oferecem resultados rápidos e seguros, ou laboratoriais, que, embora possam introduzir pequenas alterações no solo, são fundamentais para uma análise detalhada. O estudo focou em uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não pavimentada numa região de montanha no norte de Portugal. Esta via, com 3016 metros de extensão e uma altitude média de 1233 metros, é crucial para o acesso ao abastecimento de água do município de Bragança. Desde 2015, com o aumento do tráfego de veículos pesados, a estrada sofreu desgaste significativo, levando a administração rodoviária a realizar intervenções frequentes para sua manutenção. Este trabalho analisa a qualidade da reabilitação feita na via, focando no índice de suporte Califórnia dinâmico (CBRd) e propõe uma intervenção que possa trazer resultados positivos para ser aplicada na via, através de ensaios *in situ* e laboratoriais com a estabilização do solo com cimento em diferentes proporções.

**Palavras-chave:** CBRd, Estabilização, Cimento, EBVT.

### ABSTRACT

*Structural analysis is vital to understanding soil behavior and is essential both for sizing pavement layers and choosing the best rehabilitation processes for specific soils, as well as for predicting and preventing pathologies. The determination of the structural capacity of these layers can be performed through in situ tests, which offer fast and reliable results, or laboratory tests, which, although they may introduce small changes in*

the soil, are essential for a detailed analysis. The study focused on an unpaved low-volume traffic road (LTV) in a mountainous region in northern Portugal. This road, which is 3,016 meters long and has an average altitude of 1,233 meters, is crucial for access to the water supply of the municipality of Bragança. Since 2015, with the increase in heavy vehicle traffic, the road has suffered significant wear, leading the road administration to carry out frequent interventions for its maintenance. This work analyzes the quality of the rehabilitation carried out on the road, focusing on the dynamic California support index (CBRd) and proposes an intervention that can bring positive results to be applied on the road, through *in situ* and laboratory tests with soil stabilization with cement in different proportions.

**Keywords:** CBRd, Stabilization, Cement, LVR.

## 1 INTRODUÇÃO

A análise estrutural, é essencial para entender o comportamento do solo tanto no dimensionamento das camadas de um pavimento quanto na determinação dos melhores processos de otimização de um tipo específico de solo. Além disso, é crucial para antecipar possíveis patologias que possam surgir, permitindo, assim, sua prevenção (MARQUES, 2015).

A determinação da capacidade estrutural das camadas de um pavimento, é realizada por meio de ensaios *in situ* ou laboratoriais (MARQUES, 2015). A avaliação *in situ* geralmente proporciona resultados rápidos e seguros, facilitando a continuidade dos trabalhos em campo. Por outro lado, a avaliação em laboratório, realizada com equipamentos que não podem ser transportados ao local de origem do solo, considera que, embora seja difícil reproduzir exatamente as condições originais, é possível que ocorram pequenas alterações no solo desde a sua coleta até o momento do ensaio.

Neste trabalho foi estudado uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não pavimentada que conecta duas barragens em uma região de montanha no Norte de Portugal. Estendendo-se por 3016 metros a uma altitude média de 1233 metros, como mostra a Figura 01. A importância dessa via se deve ao fato de que as barragens são fundamentais para a distribuição de água na região, o que torna a manutenção dessa estrada crucial para a segurança e comodidade de circulação local.



**Figura 1 - Estrada de Baixo Volume de Tráfego (EBVT) estuda**

**Fonte:** GOOGLE EARTH PRO (2024)

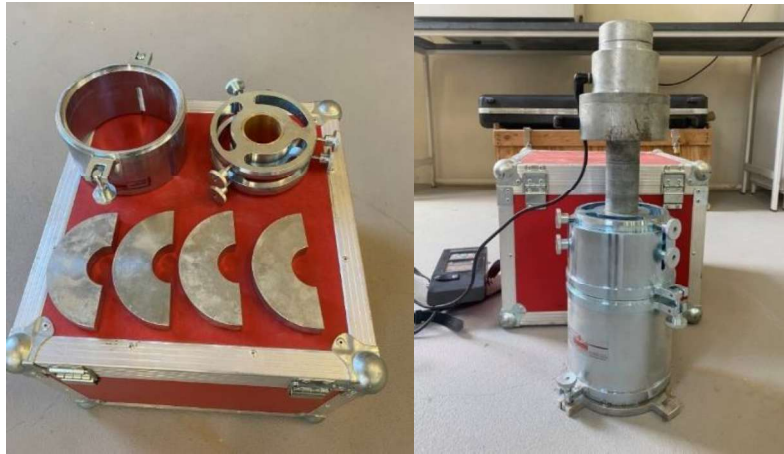
Desde a conclusão da construção do sistema hídrico em 2015, o aumento do tráfego de veículos pesados, para o qual a via originalmente não estava projetada para suportar, causou significativo desgaste na estrada. Em resposta, a administração rodoviária tem realizado intervenções frequentes para garantir a sua manutenção. Este trabalho tem como objetivo analisar em termos de Índice de Suporte Califórnia dinâmico (CBRd) a qualidade da reabilitação feita na via através de ensaios in situ e laboratoriais e propor uma intervenção a ser realizada que traga resultados positivos e possa ser aplicado na zona estudada.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CBRd - Índice de Suporte Califórnia dinâmico**

Assim como o ensaio CBR convencional, o CBR dinâmico mede os esforços necessários para que um pistão circular penetre uma amostra de solo a uma profundidade que varia de 2,54 a 5,08 mm, comparando esses esforços com os padrões estabelecidos pela norma (RINCÓN-MORANTES; ALVAREZ; REYES-ORTIZ, 2022). No CBR dinâmico, o impacto que gera o esforço resulta da queda livre do pistão, causando um deslocamento no solo, que é detetado pelos acelerômetros presentes na placa em contato com o solo.

Esse ensaio também pode ser realizado em laboratório, onde o equipamento é adaptado para simular as condições de campo. Tanto no campo quanto no laboratório, o equipamento utilizado para aplicar o impacto que penetra a amostra consiste em um dispositivo de carga com 15 kg, dos quais 10 kg correspondem à massa móvel que gera o impacto e, conseqüentemente, a deformação no solo. Os 5 kg restantes, que em campo correspondem à placa de carga e ao pistão, são substituídos no laboratório pelos: pistão, guia do pistão, extensor do molde e 4 pesos, que juntos simulam a placa de 300 mm característica do CBR dinâmico, como ilustrado na Figura 02.



**Figura 2 - Material específico para realização do ensaio CBRd em laboratório**

Fonte: Autor (2024)

## **2.2 Estabilização química de solos**

A estabilização de solos visa melhorar as propriedades mecânicas do solo e aumentar a durabilidade dessas características. Com isso, o solo se torna mais resistente e capaz de responder melhor às solicitações a que for submetido. (CRUZ, 2004)

Nem todo tipo de solo pode ser estabilizado pelos métodos existentes (CRUZ, 2004). Os métodos de melhoramento de solo são classificados de acordo como é executado, sendo a estabilização química o melhoramento o qual as características dos solos são modificadas através da adição de aditivos químicos, como cimento ou cal. Assim, torna-se possível utilizar solos locais na construção de pavimentos rodoviários, mesmo quando a sua baixa qualidade os excluía devido à incapacidade de atender às especificações necessárias das camadas de base e sub-base. Ao estabilizar o solo com ligantes hidráulicos, reduz-se o índice de plasticidade, aumenta a rigidez a médio e longo prazo, sendo assim as principais vantagens deste tipo de estabilização (DIAS, 2012).

O cimento e a cal são os principais agentes estabilizadores empregados, além de ser mais adequados para uma ampla variedade de solos, apresentar maior durabilidade e disponibilidade, e ser menos prejudiciais às camadas inferiores do solo.

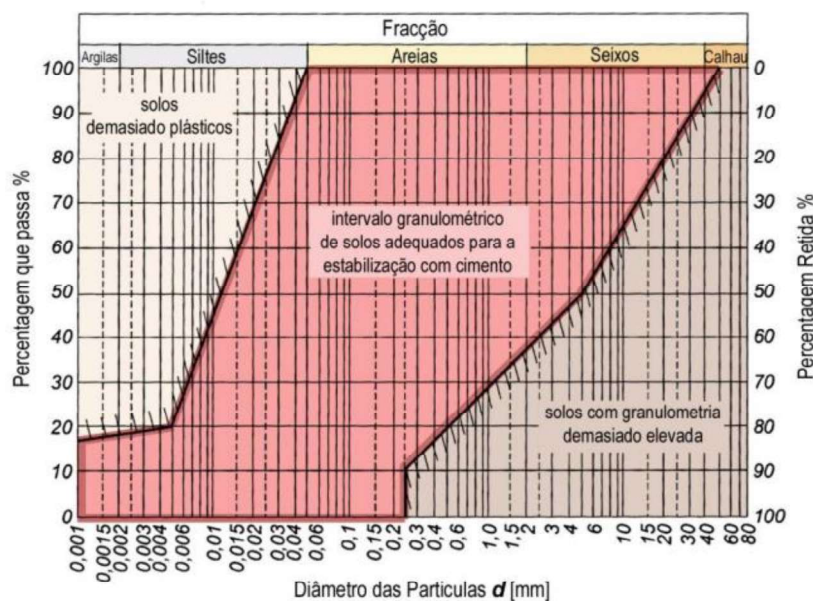
### **2.2.1 Estabilização de solos com cimento**

Nas misturas de solo com cimento, a depender da quantidade de cimento adicionada ao solo, a ação estabilizadora do cimento pode ocorrer por meio de dois mecanismos distintos. Um desses mecanismos é observado em teores de cimento mais baixos, que envolve uma modificação na proporção de finos do solo que reduz a sua plasticidade, podendo ou não ser acompanhada por um aumento na resistência mecânica. Nesses casos, o cimento forma núcleos independentes na massa de solo. O outro mecanismo resulta no aumento da resistência

mecânica devido à ação aglutinante do aditivo que une as partículas do solo. Este efeito é observado quando são utilizados teores de cimento mais elevados, nos quais o cimento forma núcleos interligados distribuídos pela massa de solo. (DIAS, 2012)

Assim, em misturas de solo com cimento em baixa quantidade (%cimento < 5%) acontece a estabilização devido a alteração da fração argilosa do solo, ao diminuir sua plasticidade. Já em misturas com maior quantidade de cimento (%cimento > 5%) a estabilização se dá devido a ação aglutinante do aditivo ao aumentar a resistência mecânica do solo. Vale ressaltar que para ambos os efeitos são necessário que haja uma boa mistura entre os materiais utilizados, tempo de cura, hidratação e a compactação necessário do material.

Os solos que melhor reagem com o cimento para sua estabilização, dependem da sua composição granulométrica, podendo ser classificados como Argila Arenosa ou Areia com Cascalho. Desta forma, os solos que apresentam curva granulométrica entre as curvas destacadas na Figura 3, são os solos ideais para seu melhoramento com cimento.



**Figura 3 - Curva Granulométrica de solos adequados para a estabilização com cimento**

Fonte: GORSKI (2010)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CBRd in situ

As avaliações mecânicas foram realizadas em duas campanhas, a primeira no dia 20 de novembro de 2023 e a segunda campanha dia 05 de fevereiro de 2024. Entre as duas campanhas de avaliação houve uma intervenção corrente da via usando os processos habituais. Durante o mês que antecedeu a primeira campanha (de 20/10/2023 a 20/11/2023),

ainda no outono, choveu um acumulado de 192,3 milímetros, todavia, na semana que antecede a avaliação não houve um volume de chuva significativa. Durante o mês antes da segunda campanha (de 05/01/2024 a 05/02/2024), no inverno, choveu um acumulado de 87,7 milímetros, porém, na semana que antecede a segunda avaliação não houve chuva.

A avaliação mecânica foi realizada em 30 pontos georreferenciados espaçados entre si aproximadamente 100m, distância que podia variar dependendo da qualidade da via. Assim, o espaçamento dado entre os pontos podia variar para melhor representar a real situação da estrada.

Tanto no campo quanto no laboratório, o equipamento gera um impacto que penetra a amostra, conseqüentemente, a deformação no solo. Após o impacto, o receptor do equipamento mostra a penetração sofrida pela amostra. A pressão necessária para penetrar a amostra em relação a brita graduada padrão normativa é calculada por meio da expressão 1, conforme indicado no manual do fornecedor do equipamento. (ZORN, 2016)

$$CBRd(\%) = \frac{87,3}{s^{0,59}} * 100 \quad (1)$$

onde,            CBRd(%)        = Relação do pistão com os valores padrões;  
                       s                        = Profundidade penetrada pelo pistão;

### 3.2 Método das Diferenças Acumuladas

Devido os diversos tipos de materiais, granulometria, compactação e teor de humidade que podem variar ao longo de uma via não pavimentada, é necessário definir pontos que representem secções ao longo da estrada. Devido isso, foi utilizado o método presente no Apêndice J do Guia para Projetos de Estruturas de Pavimento, Método das Diferenças Acumuladas da AASHTO (1993), para identificar as secções semelhantes e os pontos característico.

Para determinação dos pontos característicos é necessário obter a área de contribuição de cada ponto. A área de contribuição de cada ponto é calculada pela média do parâmetro analisado, no caso o CBRd, entre o ponto em estudo e seu anterior, como mostra na equação 2.

$$A_n = \left( \frac{CBRd_{n-1} + CBRd_n}{2} \right) * \Delta x_n \quad (2)$$

onde,            An            = Área de contribuição do ponto n;  
                       CBRdn = CBRd no ponto n;  
                       Δxn        = Distância no ponto n ao ponto inicial (n=1)

Para desenvolvimento do método é necessário calcular o parâmetro Zx de cada ponto. Este parâmetro é determinado pela subtração da área de contribuição acumulada até o ponto estudado pela razão entre a área acumulada total e o comprimento total da estrada, multiplicado

pela distância acumulada do ponto analisado, como mostra a Equação 3.

$$Z_{x,n} = \overline{A}_n - \left( \frac{A_{n,total}}{L} * \Delta x_n \right) \quad (3)$$

onde,  $Z_{x,n}$  = Parâmetro  $Z_x$  do ponto  $n$ ;  
 $\overline{A}_n$  = Área de contribuição acumulada do ponto  $n$ ;  
 $L$  = Comprimento total da via.

Com o parâmetro  $Z_x$  definido para cada ponto é plotado um gráfico da distância acumulada de cada ponto no eixo das abscissas pelo parâmetro  $Z_x$  no eixo das ordenadas. Conforme orientações na AASHTO (1993), não são considerados o ponto inicial (ponto 1) nem o ponto final (ponto 30). Para cada mudança de declividade do gráfico está definida uma secção homogênea.

Para determinação do ponto característico de cada secção, foi estabelecido como critério que 85% da secção apresente resultado igual ou superior a este valor. Assim, somente 15% daquela secção estaria em condições inferiores ao do ponto característico. Por meio das análises das distribuições de gauss, é possível obter o ponto característico a partir da equação 4.

$$CBRd_k = \overline{CBRd} - 1,04 * \sigma_r \quad (4)$$

onde,  $CBRd_k$  = Valor característico do CBRd;  
 $\overline{CBRd}$  = Média dos valores existentes na secção;  
 $\sigma_r$  = Desvio Padrão dos valores existentes na secção;  
1,04 = Valor determinado nas tabelas de Gauss que abrange 85,08%

O valor Característico da sessão será aquele que mais se aproxima do determinado pela expressão 10. Como nem sempre há valores coincidentes ao valor característico dentre os valores existentes na secção, é preciso considerar o erro médio quadrático para identificar o que mais se aproxima do valor característico. O Erro médio quadrático (EMQ) é calculado conforme indica a Equação 5.

$$EMQ[\%] = \sqrt{\frac{(r_n - r_k)^2}{r_k}} \quad (5)$$

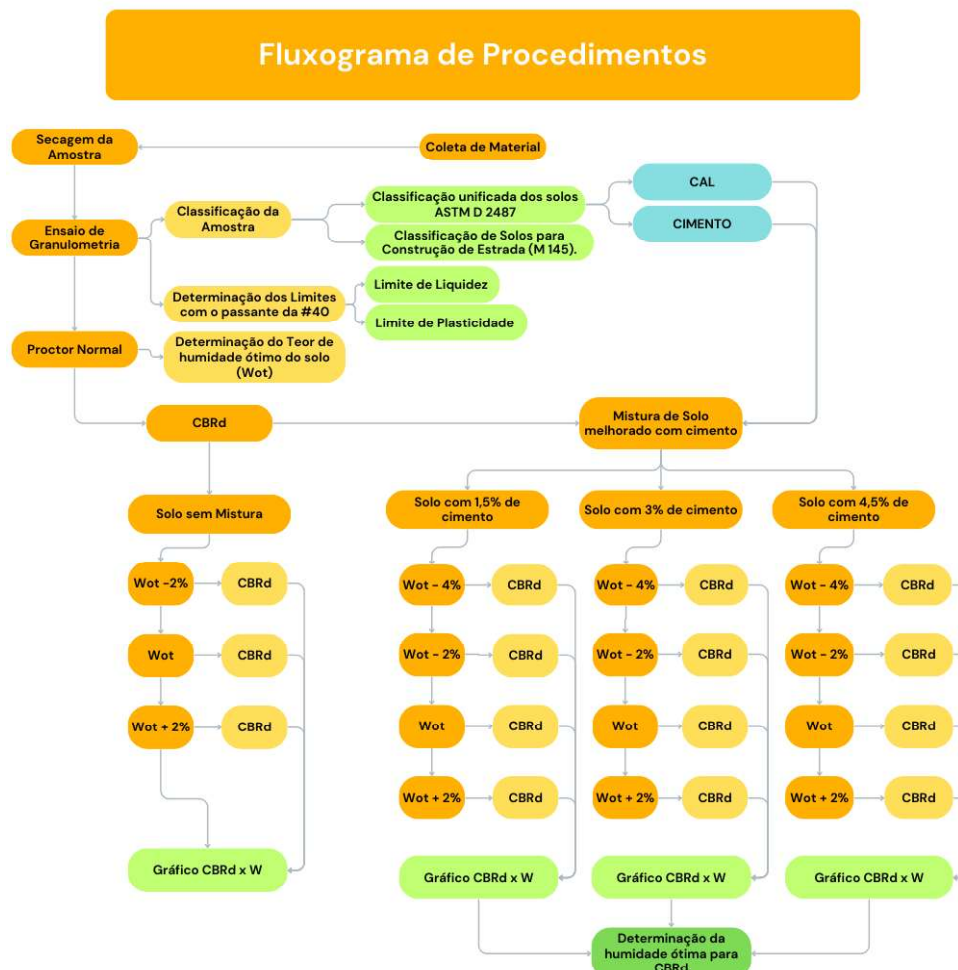
onde,  $r_n$  = Valor da variável 'r' no ponto  $n$ ;  
 $r_k$  = Valor característico da variável 'r';

### 3.3 Plano Laboratorial

Após os pontos característicos definidos, os ensaios laboratoriais foram realizados somente para o ponto mais crítico da segunda campanha. A coleta do material foi feita dia 19 de Março de 2024. Como em todos os ensaios foi utilizado o solo seco em estufa, não foi levado em

consideração a quantidade de chuva que antecedeu a coleta nem a humidade no instante da coleta.

Os ensaios laboratoriais seguiram o plano de trabalho exposto no organograma da Figura 4 e foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança.



**Figura 4 – Plano de Trabalho Laboratorial**  
 Fonte: Autor (2024)

Conforme o fluxograma, após a coleta do material, será realizada uma sequência de ensaios. O material será classificado conforme sua granulometria segundo a Classificação Unificada do solo (ASTM D 2487) e a Classificação para construção de estrada (M 145). Após classificado será determinado os limites de liquidez e de plasticidade com o material passante no peneiro N° 40. Com o material devidamente classificado será determinado o teor em água ótimo, através do ensaio Proctor Normal, para que esse teor em água seja referência para os demais ensaios. Desta forma, com o teor em água determinado será realizado o ensaio CBRd em laboratório com diferentes percentagens de cimento e água, sempre a variar a partir do teor em água ótimo.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÕES

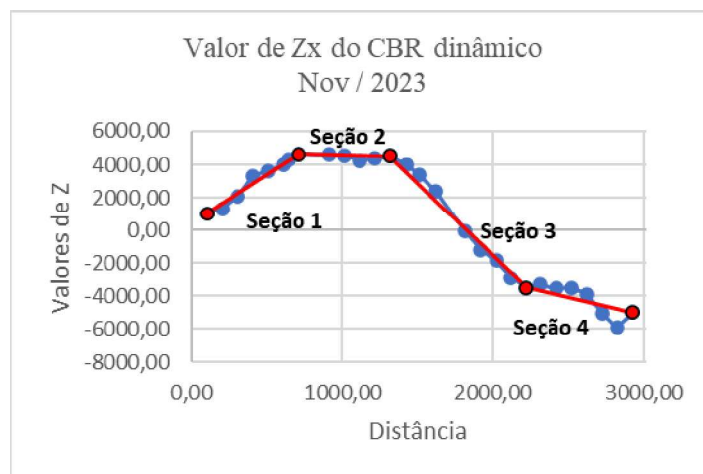
O resultado das duas campanhas de medição de CBRd in situ realizadas em novembro de 2023 e fevereiro de 2024 estão expostos no Quadro 01.

**Quadro 1 - Resultado do ensaio CBRd realizado in situ**

CBR								
Ponto	Camp. 01	Camp. 02	Ponto	Camp. 01	Camp. 02	Ponto	Camp. 01	Camp. 02
1	53%	93%	11	36%	35%	21	23%	33%
2	45%	35%	12	36%	28%	22	43%	31%
3	40%	34%	13	45%	38%	23	39%	26%
4	53%	39%	14	36%	28%	24	35%	35%
5	49%	40%	15	33%	39%	25	44%	36%
6	36%	Nulo	16	31%	Nulo	26	27%	25%
7	49%	42%	17	29%	38%	27	28%	27%
8	51%	56%	18	24%	34%	28	33%	44%
9	37%	40%	19	32%	27%	29	62%	40%
10	41%	27%	20	34%	43%	30	Nulo	24%

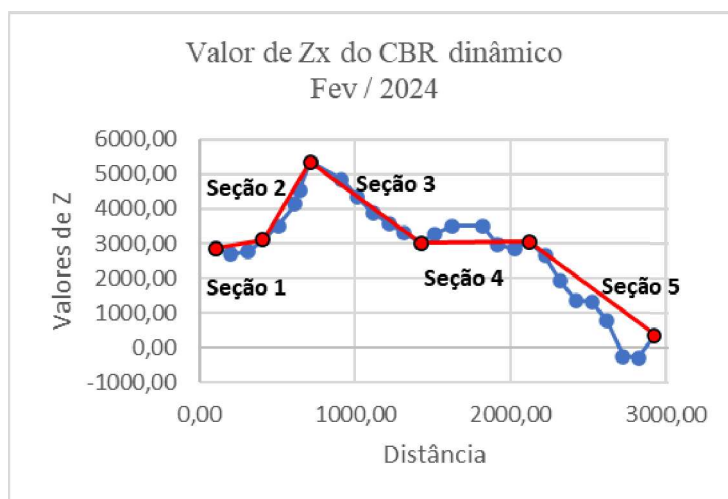
Dentre resultados obtidos nas campanhas, o CBRd do ponto 30 da campanha 01 e os pontos 06 e 16 da campanha 02 foram anulados devido seus valores exorbitantes (CBRd>100%), causados provavelmente por alguma rocha muito próxima da superfície da via e que não foi observado durante a realização do ensaio.

Foi calculado o valor de Zx de todos os pontos da última campanha, a fim de observar semelhança entre os pontos analisadas, identificar as secções homogêneas da via, conjunto de pontos com comportamento semelhantes, para cada campanha e determinar seus pontos característicos, ponto que representa a secção uma vez que 85% dela apresentar resultado igual ou superior a seu valor. A Figura 5 e 6 mostram as secções homogêneas das duas últimas campanhas realizadas.



**Figura 5 - Secções Homogêneas da campanha de avaliação de CBRd em novembro de 2023**

Fonte: Autor (2024)



**Figura 6 - Secções Homogêneas da campanha de avaliação de CBRd em fevereiro de 2024**

Fonte: Autor (2024)

Para cada secção homogênea foi estimado estatisticamente um valor característico para a secção e assim, determinado o ponto característico. Na Quadro 2 está exposto os pontos característicos de cada secção homogênea.

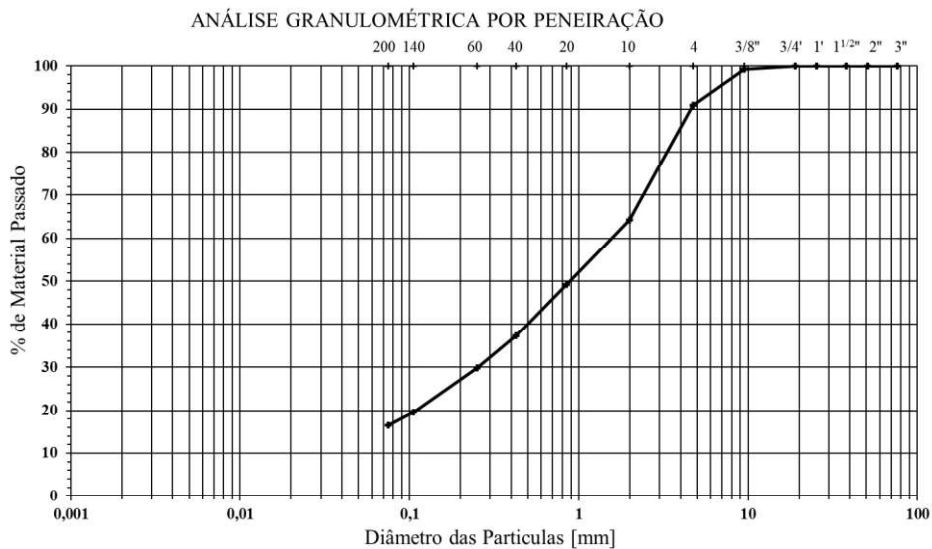
**Quadro 2 - Pontos característicos**

Pontos Característicos Nov. 2023		Pontos Característicos Fev. 2024	
Ponto	CBR (%)	Ponto	CBR (%)
9 – Secção 01 (2 a 9)	37	3 – Secção 01 (2 a 5)	34
11, 12 e 14 – Secção 02 (9 a 14)	36	5 – Secção 02 (5 a 9)	40
18 – Secção 03 (14 a 22)	24	12 e 14 – Secção 03 (9 a 15)	28
26 – Secção 04 (22 a 29)	27	19 – Secção 04 (15 a 21)	27
-	-	22 – Secção 05 (21 a 29)	31

Quando é analisado as secções homogêneas com seus respectivos valores de CBRd característico, é possível perceber que o início da via, entre os pontos 01 e 14 aproximadamente, temos sempre valores mais altos de CBRd. Entre os pontos 14 e 21 aproximadamente estão os valores mais baixos de CBRd.

Assim, como o Ponto 19 é o ponto característico com menor valor de CBRd na segunda campanha, será este o ponto selecionado para realização dos ensaios laboratoriais a fim classificá-lo e obter melhores resultados de CBRd através da estabilização química com cimento.

Com o solo coletado no ponto 19, foi realizado o ensaio de granulometria. A Figura 7 mostra a curva granulométrica obtida de acordo com o ensaio realizado.



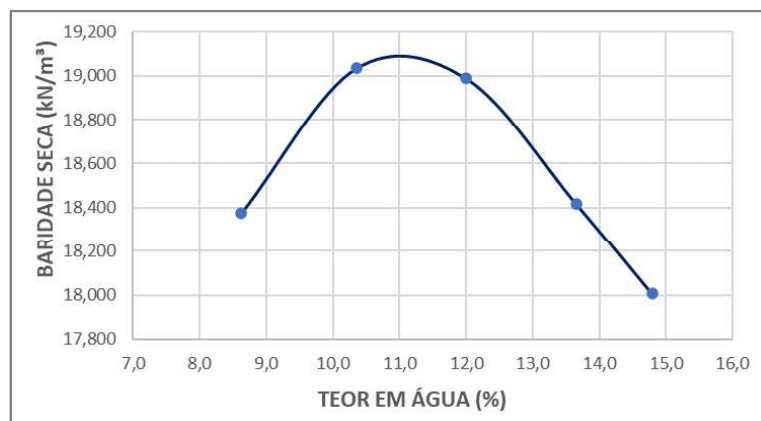
**Figura 7 - Curva granulométrica do ponto 19**

Fonte: Autor (2024)

Após a análise da curva granulométrica, o solo foi classificado segundo o sistema unificado de classificação de solos (ASTM D 2487-85) como uma Areia bem graduada com cascalho (SW).

Com o solo coletado não foi possível determinar os Limites de Atterberg (LL e LP). Desta forma o solo do Ponto 19, ao utilizar a classificação de solos para construção de estrada (M 145), pode ser classificado como A-2-4. Areia e areia siltosa ou argilosa, com comportamento excelente a bom para ser aplicado com subleito.

Com o material devidamente classificado foi determinado o teor em água ótimo, através do ensaio Proctor Normal, como pode ser visto na Figura 8.



**Figura 8 - Curva de compactação para o solo do ponto 19**

Fonte: Autor (2024)

Ao analisar a curva de compactação, o ponto 19 tem um teor água ótimo para compactação de 11% de água, com uma massa específica aparente seca de 19,1kN/m³. Assim, este se torna o valor de referência

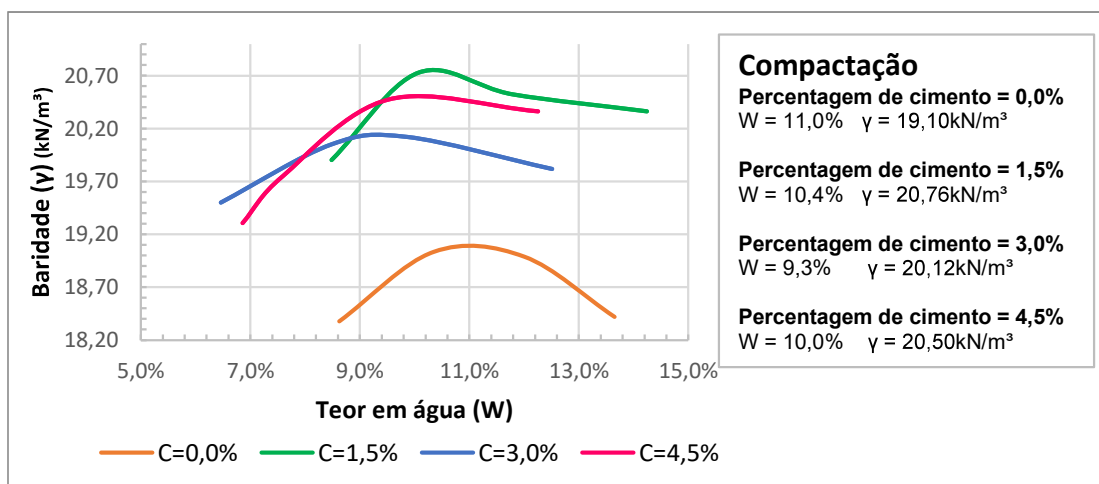
para os ensaios CBRd realizados com adição de cimento na tentativa da sua estabilização química.

O CBRd havido sido analisado somente em campo, desta forma foi realizado o ensaio em laboratório com o solo colhido no ponto 19, a fim de buscar valores de referência para as análises feitas com diferentes proporções de cimento no solo. Ao reduzir o teor em água o valor de CBRd tende a aumentar. Na Quadro 3 são expressos os valores de CBRd para diferentes teores em água e proporções de cimento. Já na Figura 9 são expostas as curvas de compactação e na Figura 10 a curva de CBRd para diferentes proporções de cimento.

**Quadro 3 - CBRd para diferentes teores em água e proporções de cimento**

Teor em água	CBR para cada % Cimento			
	W estimado [%]	0,00%	1,50%	3,00%
7%	-	-	74%	42%
9%	58%	70%	47%	44%
<b>11%</b>	<b>47%</b>	<b>47%</b>	<b>39%</b>	<b>50%</b>
13%	29%	40%	25%	27%
15%	-	31%	-	-

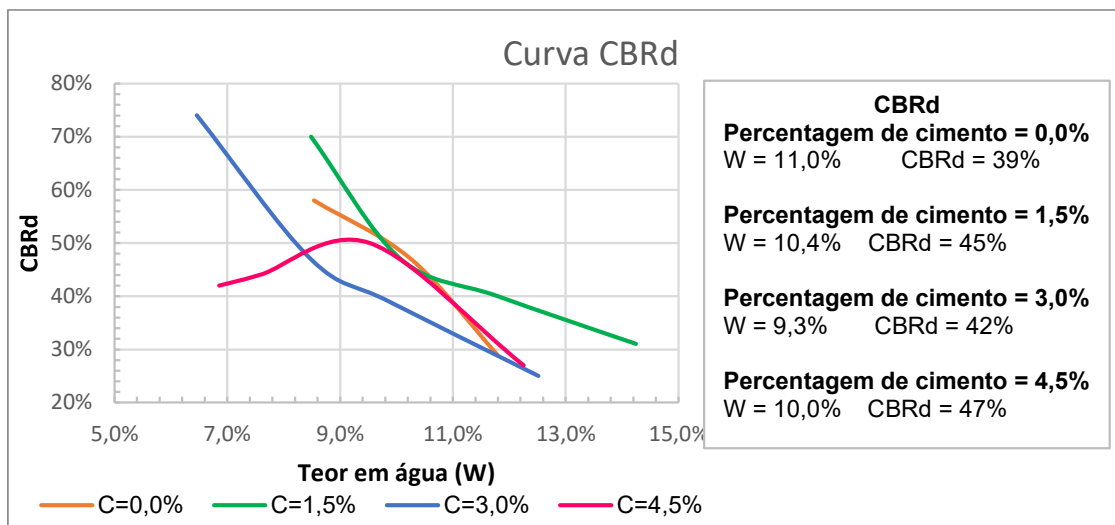
Conforme mostrado na Figura 9, a adição de cimento aumentou a massa específica aparente seca da amostra, independentemente da percentagem de cimento utilizada, resultando em uma melhor compactação do solo. No entanto, o aumento na quantidade de cimento não levou a um crescimento proporcional da massa específica aparente seca. A curva verde na Figura 9, que representa a amostra com 1,5% de cimento, apresentou a melhor compactação, atingindo 20,76 kN/m<sup>3</sup>. Embora a mistura com 3% de cimento tenha sido a menos eficiente para a compactação, ainda foi 5,34% superior à densidade da mistura sem cimento, o que é uma variação significativa, considerando as baixas proporções de cimento utilizadas.



**Figura 9 - Curva de compactação para diferentes teores de cimento**

Fonte: Autor (2024)

A partir da Figura 10, observa-se que o solo com 4,5% de cimento alcançou o maior valor de CBRd no ponto de teor de água ótimo da curva de compactação. No entanto, para teores de água inferiores a 9%, o valor de CBRd diminui nesse solo com 4,5% de cimento. Embora normalmente se espere que o CBRd aumente com a redução do teor de água, o comportamento desse solo de baixa plasticidade utilizado, que se situa entre um solo melhorado com cimento ( $C < 5\%$ ) e um solo-cimento ( $C > 5\%$ ), influencia os valores de CBRd. Portanto, a proporção de 1,5% de cimento foi a que apresentou o melhor resultado na estabilização do solo com um CBRd de 45% no ponto de teor em água ótimo que já é maior que o CBRd médio de todas as outras campanhas já realizadas na via.



**Figura 10 - Curva de CBRd para diferentes teores de Cimento**

Fonte: Autor (2024)

## 5 CONCLUSÃO

Ao observar os resultados de CBRd entre as campanhas de intervenções realizadas, expostos no Quadro 01, nove pontos obtiveram valores de CBRd superior na campanha de 2024. Dos 27 pontos estudados, 1 obteve o mesmo valor nas duas campanhas e 17 pontos obtiveram valor inferiores de CBRd após a intervenção. Desta forma em termos de CBRd a intervenção realizada pela administração da via não pode ser considerada benéfica, visto que houve piora da resistência na maioria dos pontos.

Na tentativa de obter uma melhor proposta de intervenção a ser realizado na via, foi adicionado cimento em diferentes proporções e realizados teste em laboratório com essas amostras. A adição de cimento em baixa proporção ( $< 5\%$ ), como foi realizado nas amostras de solo do ponto 19, faz com que o solo reduza sua plasticidade. Esse fato pode ser constatado com a redução do teor em água ótimo e a melhoria do grau de compactação ao adicionar cimento. O teor em água ótimo para a amostra sem cimento era de 11%, essa porcentagem variou decrescentemente em 2% ao adicionar cimento, sendo 10,4% o teor em

água ótimo para a proporção de 1,5% de cimento e chegando ao seu valor mínimo de 9,3% de água para a melhor compactação quando adicionado 3% de cimento. Todavia, a proporção de cimento que obteve melhor curva de compactação foi a mistura de solo com 1,5% de cimento.

Quando analisado a capacidade de suporte das amostras, através do ensaio CBRd, todos os solos adicionados de cimento obtiveram melhor valor de CBRd que o solo sem cimento, cada um com seu respectivo valor de teor em água ótimo. O solo que obteve melhor resposta com o seu teor em água ótimo foi o solo adicionado de 4,5% de cimento. Porém por se tratar de um solo em uma faixa de transição entre solo-cimento e solo melhorado com cimento sofreu decréscimo dos seus valores de CBRd quando utilizou teores em água inferiores ao ótimo. Devido a isso, o solo que obteve melhor valor e comportamento estável de CBRd em seu teor em água ótimo foi o solo com 1,5% de cimento obtendo um valor de CBRd de 45%.

Assim, uma vez que o solo adicionado 1,5% de cimento foi a amostra que obteve melhores resultados, tanto na curva de compactação quanto na curva de CBRd, esta percentagem se torna a ideal a ser aplicada com o objetivo de melhorar o desempenho e conservação das vias presentes na zona. Todavia, para tipos de solo diferentes do estudado no ponto 19, é necessário refazer o estudo para o tipo de solo específico do local a ser aplicado.

## REFERÊNCIAS

AASHTO. **Guide for Design of Pavemente Structures. Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste** Washington, D.C., 1993.

CRUZ, Maria de L. S. **Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento**. 2004. UNIVERSIDADE DO MINHO, [S. l.], 2004.

DIAS, João José da Fonseca Marques Simões. **Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas**. 2012. Universidade Nova de Lisboa, [S. l.], 2012.

GORSKI, Cristina Maria Fernandes Martins. **Estabilização de Solos Argilosos com Ligante Hidráulico LIPIDUR DS**. 2010. Universidade da Beira do Interior, [S. l.], 2010.

MARQUES, Diogo Miguel Abrantes Carvalho. **Controlo de Qualidade de Estradas de Baixo Volume de Tráfego tação**. 2015. Universidade Nova de Lisboa, [S. l.], 2015.

RINCÓN-MORANTES, Jhon Fredy; ALVAREZ, Alex E.; REYES-ORTIZ, Oscar J. Estimación de la rigidez de materiales granulares marginales no ligados mediante ensayo CBR dinámico. **Ingeniería y Desarrollo**, [S. l.], v. 40, n. 01, p. 92–113, 2022. DOI: 10.14482/inde.40.01.621.992.

ZORN. **Supplementary User Manual for the Dynamic Field CBR**. , 2016.