

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANDRÉ LUIS SILVA LOBATO
GUSTAVO HENRIQUE MARTINS

**UTILIZAÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DA CANA DE AÇUCAR NO
MELHORAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO SOLO LATERÍTICO
DE BRASÍLIA**

BRASÍLIA – DF

2018

ANDRÉ LUIS SILVA LOBATO
GUSTAVO HENRIQUE MARTINS

**UTILIZAÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DA CANA DE AÇUCAR NO
MELHORAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO SOLO LATERÍTICO
DE BRASÍLIA**

Orientação: Ivonne Alejandra M. G. Gôngora, D.Sc.

BRASÍLIA – DF

2018

RESUMO

Os solos predominantes em Brasília são os lateríticos, seus grãos são muito pequenos (da ordem de milionésimo de milímetros), constituídos externamente por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, apresentando grande vulnerabilidade em suas propriedades, quando submetidos a variações climáticas (chuvas, secas). Na engenharia civil, o solo deve apresentar uma certa estabilidade para não comprometer a estrutura da obra, (rodovia, barragem, edificação entre outras). Devida sua vulnerabilidade em alguns casos, são realizados melhoramentos no solo, adicionando algum material que aumente sua resistência, para assim, atender as especificações de projeto.

O método mais usado para o melhoramento dos solos é a adição de aglomerantes, dos quais se destacam o cimento Portland e a cal, todos ambientalmente nocivos quanto a sua extração e produção. Com o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao meio ambiente, surgem materiais alternativos, que podem ser utilizados na melhoria destes solos, causando menores impactos ambientais em vista dos métodos tradicionais. A CBC quando queimada com temperatura apropriada, é capaz de gerar cinzas que possuem características similares as do cimento Portland. É importante ressaltar que a queima do bagaço da cana de açúcar, libera considerável quantidade de carbono na forma de CO₂ para a atmosfera, porém, o balanço destas emissões é praticamente nulo, pois a biomassa queimada é repostada no ciclo seguinte da cultura da cana através do processo de fotossíntese (Cordeiro et al., 2008).

Este trabalho buscou oferecer uma alternativa economicamente e ambientalmente viável de melhoramento do solo, estudando seu comportamento quando incorporado com cinzas do bagaço da cana de açúcar, que é uma matéria prima abundante no Brasil. Com os resultados obtidos, constatou-se que em alguns ensaios houve mudança no seu peso específico, na resistência ao cisalhamento direto e em sua resistência a penetração, mantendo-se praticamente inalterada a umidade ótima das amostras.

Palavras Chave: Sustentabilidade, cinza, solo, melhoramento, bagaço da cana de açúcar.

ABSTRACT

The predominant soils in Brasilia are lateritic, their grains are very small (on the order of one millionth of a millimeter), externally constituted by oxides and hydroxides of Fe and Al, presenting great vulnerability in their properties when subjected to climatic variations (rainfall). In civil engineering, the soil must have a certain stability so as not to compromise the structure of the work (highway, dam, building, among others). Due to their vulnerability in some cases, improvements are made to the soil, some material that increases its strength needs to be added to meet project specifications.

The most used method for soil improvement is the addition of binders, of which they stand out; Portland cement and lime, all of which are environmentally damaging to their extraction and production. With the development of research focused on the environment, alternative materials emerge that can be used to improve these soils, causing lower environmental impacts in view of traditional methods. The CBC, when burned at an appropriate temperature, is capable of generating ashes that have characteristics similar to those of Portland cement. It is important to note that the burning of sugarcane bagasse will release a considerable amount of carbon in the form of CO₂ into the atmosphere, but the balance of these emissions is practically zero, because the biomass burned is replaced in the next cycle of sugarcane, through the process of photosynthesis (Cordeiro et al., 2008).

This work sought to offer an economically and environmentally viable alternative for soil improvement, studying its behavior, when incorporated with ash from sugarcane bagasse, which is an abundant raw material in Brazil. With the results obtained, it was verified that in some of the tests there was a change in its specific weight, resistance to direct shear and in its resistance to penetration, maintaining almost unchanged the optimal moisture of the samples.

Key Words: Sustainability, gray, soil, improvement, sugarcane bagasse.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	2
2.1. - OBJETIVO GERAL	2
2.2. - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. - RESÍDUOS DA CANA DE AÇUCAR	3
3.2. - CINZA RESIDUAL DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR	3
3.3. - PROPRIEDADES GEOMECÂNICAS DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA	5
4 - METODOLOGIA	6
4.1. - DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES	6
4.1.1. - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	7
4.1.2. - LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LIMITES DE ATTERBERG).....	9
4.1.3. - MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS (GS).....	13
4.2. – COMPACTAÇÃO.....	14
4.3. - ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	19
4.4. - CISALHAMENTO DIRETO	27
4.5. PERMEABILIDADE:.....	32
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
5.1. - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	35
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : cinzas do bagaço da cana de açúcar.....	4
Figura 2: peneirador mecânico.....	7
Figura 3: béquer usado na sedimentação.....	8
Figura 4: aparelho de casagrande.....	10
Figura 5: limite de plasticidade.....	11
Figura 6: metodologia SUCS.....	13
Figura 7: ensaio com picnômetro.....	14
Figura 8: ensaio de compactação.....	15
Figura 9: ensaio de CBR.....	20
Figura 10: ensaio de cisalhamento direto.....	28
Figura 11: ensaio de permeabilidade.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: porcentagem passante.....	8
Tabela 2: limite de liquidez.....	11
Tabela 3: limite de plasticidade.....	12
Tabela 4: massa específica dos grãos.....	14
Tabela 5: ensaio de permeabilidade.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: curva granulométrica.....	9
Gráfico 2: curva solo de referência.....	15
Gráfico 3: curva solo + 2% CBC.....	16
Gráfico 4: curva solo + 4% CBC.....	16
Gráfico 5: curva solo + 6% CBC.....	17
Gráfico 6: curva solo + 8% CBC.....	17
Gráfico 7: curva solo + 10% CBC.....	18
Gráfico 8: comparativo entre as curvas de compactação.....	18
Gráfico 9: comparativo entre os pesos específicos das amostras.....	19
Gráfico 10: ISC solo de referência.....	21
Gráfico 11: ISC solo + 2% CBC.....	22
Gráfico 12: ISC solo + 4% CBC.....	23
Gráfico 13: ISC solo + 6% CBC.....	24
Gráfico 14: ISC solo + 8% CBC.....	25
Gráfico 15: ISC solo + 10% CBC.....	26
Gráfico 16: comparativo ISC das amostras.....	27
Gráfico 17: cisalhamento solo de referência.....	29
Gráfico 18: cisalhamento solo + 2% CBC.....	29
Gráfico 19: cisalhamento solo + 4% CBC.....	30
Gráfico 20: cisalhamento solo + 6% CBC.....	30
Gráfico 21: cisalhamento solo + 8% CBC.....	31
Gráfico 22: cisalhamento solo + 10% CBC.....	31
Gráfico 23: comparativo entre os ângulos de atrito e das coesões das amostras.....	32

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBC – Cinzas do Bagaço da Cana de Açúcar
IP - Índice de Plasticidade
ISC – Índice de Suporte Califórnia
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
NBR – Norma Brasileira Registrada
SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos
UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

Lista de Símbolos

G_s – Massa específica real dos grãos
c' – Coesão
φ – Ângulo de Atrito
τ – Tensão Cisalhante
σ – Tensão Normal
mm - Milímetros
kPa – Quilopascal
kN - Quilonewton
kg – Quilograma
g - Grama
°C – Graus Celsius
min - Minutos
w (%) - Umidade
w_{ótima} – Umidade Ótima
γ_{dmáx} – Peso específico seco máximo

1 - INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira. Com a estabilidade econômica que o país conseguiu alcançar nos últimos anos, o crescimento no setor foi bem acentuado, mas este crescimento trouxe também maior demanda por insumos naturais, acarretando assim, impactos negativos para o meio ambiente. Baseado nesta problemática, surge a preocupação de criar mecanismos que possam diminuir estes impactos ambientais, privilegiando a sustentabilidade na construção.

Para alcançar estes padrões sustentáveis, estudos estão sendo feitos para a reutilização de resíduos, tanto provenientes da construção civil, como resíduos dos processos industriais e agropecuários. O objetivo é atenuar a quantidade de material descartado sem nenhum cuidado, e diminuir a demanda por recursos naturais não renováveis. Dentre esses materiais podemos citar: RCD (resíduo de construção e demolição), cinzas de cascas de arroz (utilizado na melhora de solos), as escórias de alto forno, proveniente da indústria siderúrgica brasileira (grande parte da escória granulada é consumida pela indústria cimenteira), entre outros. Estes impactos são causados pela extração, transporte e principalmente pelos processos de industrialização destes materiais. Desta maneira, torna-se de fundamental importância, o estudo de materiais alternativos que possam ser utilizados para diminuir o consumo desses insumos potencialmente poluidores.

As pesquisas, de uma forma geral, estão inicialmente voltadas para um estudo das propriedades físicas e químicas dos resíduos. De posse dessas informações, o pesquisador avalia onde este material poderá ser melhor empregado, podendo substituir parcialmente ou totalmente um determinado produto. Com isto, o meio ambiente ganha duas vezes; a primeira por utilizar resíduo que seria descartado causando poluição e degradação do solo, e posteriormente, de poupar material de uso tradicional, que no seu processo de fabricação afeta o meio ambiente.

O material que será estudado é o proveniente das usinas da cana de açúcar. A extração do sumo da cana de açúcar, gera como resíduo, o bagaço, que por sua vez, é muito utilizado como material combustível na própria usina para a geração de energia elétrica. Esta queima produz as cinzas do bagaço da cana de açúcar (CBC), que quando moídas e peneiradas, poderão ser usadas para o melhoramento do solo.

Estudos apontam para uma característica cimentícia destas cinzas. As cinzas provenientes da queima nas usinas, por dispor grande concentração de sílica, em torno de 60% de sua massa (Cordeiro 2006), tem o mesmo comportamento de cimentos pozolânicos. Em sua pesquisa sobre as características físicas e químicas das cinzas, para uso na construção, (Nunes

et al,2008) observaram um ganho considerável na resistência do concreto, com substituição parcial (13%) do cimento Portland pela CBC, comparada com um traço de referência. Na tese sobre o desempenho de microconcretos fabricados com cimento Portland com adição da CBC, (Poggiali, 2010) sugere que este ganho de resistência está associado ao efeito filler das micro partículas destas cinzas (substituição entre 10% a 15% do cimento).

Existem outras pesquisas mostrando outras aplicações do bagaço da cana de açúcar, (Coutts, 2005) propõe a utilização deste resíduo, na substituição do amianto(material cancerígeno) na fabricação de fibrocimentos (Lima et al, 2009), analisaram a utilização da cinza do bagaço da cana de açúcar em substituição ao agregado miúdo, e destacaram que o uso da CBC como agregado miúdo é viável em argamassas, desde que também seja investigada a durabilidade dos materiais, para que se possam estabelecer melhores parâmetros de utilização.

Com estas características, estas cinzas podem substituir o uso da cal ou do cimento Portland para atenuar os problemas de baixa resistência de determinados solos. Mas para que as cinzas sejam utilizadas, (Azevedo 2002), propõe que as partículas de sílica devem apresentar superfície específica e granulometria semelhantes ou inferiores a do cimento, reduzindo o índice de vazios do solo, ampliando sua resistência mecânica e diminuindo sua permeabilidade.

2 – OBJETIVOS

2.1. - OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do solo laterítico de Brasília com a adição de cinzas do bagaço de cana de açúcar em diferentes porcentagens 2%, 4%, 6%, 8%, e 10%.

2.2. - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Definir a porcentagem ótima na adição do bagaço da cana de açúcar para garantir um bom comportamento mecânico do solo laterítico.
- ✓ Caracterizar o solo laterítico e o bagaço da cana de açúcar a serem utilizados.
- ✓ Avaliar o comportamento mecânico do solo laterítico de Brasília com e sem a adição de bagaço da cana de açúcar.
- ✓ Determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo com e sem adição das cinzas do bagaço da cana de açúcar.
- ✓ Avaliar a permeabilidade do solo com e sem adição das cinzas do bagaço da cana de açúcar

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. - RESÍDUOS DA CANA DE AÇUCAR

No Brasil, uma de suas atividades econômicas mais antigas é a indústria sucroalcooleira, que está diretamente relacionada aos principais contextos históricos do nosso país. De acordo com o IPEA (Instituto de pesquisas econômicas aplicadas), o Brasil é um dos países que mais geram resíduo proveniente da cana de açúcar, isto acontece devido o nosso território ser o maior produtor e exportador da cana de açúcar no mundo. Atingiu este patamar por utilizar o álcool como combustível, ocupando um importante papel na economia do país.

Na produção do açúcar ou do álcool, os principais resíduos gerados são; águas de lavagem, bagaço, vinhaça e torta de filtro. Apesar da alta tecnologia que é empregada no setor, a indústria sucroalcooleira, tem buscado encontrar soluções para o descarte dos resíduos gerados em sua produção.

O bagaço da cana de açúcar, que em sua grande maioria, é usado para geração de energia elétrica, pode tornar uma usina autossustentável, e em alguns casos, fornecer o excedente as concessionárias de eletricidade. Segundo (Coelho,1999 apud Souza, 2007), a utilização desse resíduo torna-se atrativo, principalmente devido ao seu poder calorífico médio de 7,74 MJ/kg (1850 kcal/kg). O bagaço da cana, é sem dúvida, o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade no Brasil. Estima-se que a cada ano sejam produzidos de 5 a 12 milhões de toneladas desse material, correspondendo a cerca de 30% do total da cana moída. (Silva et al, 2007).

Em Brasília, por falta de informações confiáveis, foram consultados os próprios comerciantes do caldo de cana, e segundo relatos, o bagaço é dispensado como resíduo sólido, e coletado pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU). Em poucos casos, são triturados e misturados com outros ingredientes para ração de animais.

3.2. - CINZA RESIDUAL DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR

A cinza proveniente da queima do bagaço da cana de açúcar, é o último resíduo gerado pela cadeia produtiva nas indústrias sucroalcooleira. São geradas cerca de 25 kg de cinza para cada tonelada de bagaço (Lima et al, 2009).

A qualidade das cinzas obtidas do processo da queima da CBC, em relação a sua característica cimentícia, varia de acordo com vários aspectos, os principais são: a espécie de cana cultivada; a usina onde é processada; o modo com que é feita a moagem; a concentração de sílica após a queima; e o comportamento mineralógico que se encontra a sílica (cristalina ou amorfa). A Figura 1 mostra as cinzas do bagaço da cana de açúcar que foi utilizada nos experimentos, não passando por nenhum tratamento específico, possuindo coloração bege com pequenos torrões acinzentados. De acordo com Cordeiro (2007), quanto mais clara a coloração das cinzas, mais completo foi seu processo de combustão.



Figura 1: cinzas do bagaço da cana de açúcar

No Brasil, existem várias usinas de cana de açúcar espalhadas pelo país, e cada uma delas pode desenvolver sua própria forma de incinerar o bagaço. Esse processo acontece em várias temperaturas o que influencia diretamente na qualidade da CBC gerado. Segundo (Paula, 2006), a quantidade e a forma de sílica na cinza, depende da temperatura, como também, do período de queima, sendo citado, para maior concentração de sílica amorfa, períodos mais longos(1h) a temperatura entre 500°C a 680°C. A espécie de cana juntamente com o tipo de solo onde ela é cultivada também podem influenciar na qualidade, gerando cinzas com maior ou menor concentração de silicato na sua composição química. A moagem da CBC está diretamente relacionada a sua reatividade pozolânica, pois quanto maior a superfície de contato, ou seja, quanto menor forem as partículas da CBC, maior será seu poder cimentício (Freitas, 2005).

Quanto a composição mineralógica das cinzas, se elas estiverem desordenadas de forma amorfa, a amostra terá maior potencial pozolânico, caso contrário, quando as cinzas estiverem mais cristalinas, este potencial pozolânico diminui consideravelmente. De acordo com a NBR 12653/2015 os materiais pozolânicos são classificados em naturais e artificiais, as pozolanas naturais são aquelas cuja origem é vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido ou de origem sedimentar com atividade pozolânica, enquanto as pozolanas artificiais são materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade

pozolânica. De acordo com Neville (1997), é fundamental que a pozolana seja finamente subdividida, pois somente assim a sílica pode combinar com o hidróxido de cálcio na presença de água para formar silicatos estáveis que têm propriedades cimentícias.

3.3. - PROPRIEDADES GEOMECÂNICAS DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA

As obras de engenharia civil demandam materiais de construção, cujo o principal é o solo. A formação dele, se dá pelo intemperismo das rochas, como também, é um processo que leva milhares de anos. Nesse processo de formação, os solos adquirem características próprias, devido aos minerais existentes no meio onde ele se forma. Por conseguinte, eles podem ser classificados segundo sua granulometria e suas propriedades químicas.

Os solos em geral possuem propriedades geotécnicas que definem a sua utilização ou não em uma obra. Algumas das principais propriedades são: Porosidade, permeabilidade, peso específico, ângulo de atrito e coesão, sendo que as últimas duas propriedades citadas estão diretamente ligadas a resistência do solo. O solo predominante em Brasília é o latosolo que está submetido a processos de laterização, e apresentam espessuras de até mais de 40 m, entretanto, predomina-se a ocorrência do argilomineral caulinita, além de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, os elementos cálcio, magnésio, potássio e sódio, entre outros, são lixiviados pelo processo de intemperismo. Dessa maneira, a estrutura é mantida por pontes de argila e apresenta elevada porosidade e permeabilidade, similar a solos granulares (10^{-3} a 10^{-4} cm/s).

Porém, os solos possuem propriedades físico-mecânicas que variam de acordo com diversos aspectos, além de ser um importante elemento empregado na engenharia e construção civil. Deste modo, a corresponder os parâmetros aceitáveis para sua utilização, especialmente quanto a resistência e estabilidade, (Delgado, 2007; Arak,1997). Logo, as propriedades geomecânicas do solo como, por exemplo, a resistência pode ser definida assim como muitas outras, a partir de estudos referentes aos devidos comportamentos mecânicos em várias situações. Segundo (Pinto, 2000), quando compactados, os solos lateríticos possuem elevada capacidade de suporte, sendo, por isto, muito aplicados em pavimentos.

Enquanto isso no Brasil, o estudo sobre solo definidos como laterítico é essencial, típicos de local com clima quente e regime de chuvas moderadas e intensas. São constituídos principalmente pela presença de argilas compostas em maior parte de minérios caulíníticos, com aparência uniforme, e baixa expansão. Apresentam elevada concentração de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos, o que proporciona cor frequentemente avermelhada

(Nogami e Villibor, 1995). Em Brasília o solo passa ainda pelo processo de laterização que é lento e atua nas camadas superficiais bem drenadas. Contudo, caracterizado pela migração e acúmulo de partículas de ferro e alumina sob a ação de infiltrações e evaporação produzindo uma crosta ferruginosa no solo com alta permeabilidade.

A resistência à tração dos solos seria derivada de duas fontes: as ligações entre os agregados e aquelas internas a estes agregados, e afirmam que à medida que o solo vai secando, a capilaridade no interior dos grumos se diferencia daquela externa a eles e que os mantém agrupados (Vilar et al, 2007). Acredita-se que a resistência à tração dos solos é influenciada pelo tipo e quantidade de mineral argila presente, o tamanho da fração argila e a quantidade de argila em estado disperso. Porém, a resistência a compressão desse tipo de solo se apresenta de maneira explícita muito maior que a de tração e está diretamente ligada ao cisalhamento e tensão de ruptura, que são analisados através de ensaios, sendo o ensaio de cisalhamento direto o mais comum.

4 - METODOLOGIA

4.1. - DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

O desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso, teve início com a coleta dos materiais envolvidos. As cinzas foram coletadas em uma usina de cana localizada em Goianésia GO, e a amostra de solo foi coletado de uma escavação feita nas proximidades da universidade. Os materiais foram armazenados na própria instituição de ensino. Após a obtenção destes materiais, foram realizados ensaios de peneiramento e sedimentação com o objetivo de caracterizar granulometricamente o solo, as cinzas foram somente coletadas e totalmente secas em estufa.

O próximo passo foi determinar a umidade ótima do solo coletado, e posteriormente, determinar a umidade ótima para cada porcentagem de mistura (solo com as cinzas). Foram moldados corpos de prova que por sua vez, foram utilizados na realização dos ensaios de CBR (Índice de Suporte Califórnia). Este ensaio teve como objetivo, avaliar a resistência a penetração das amostras.

A próxima etapa deste trabalho, foi moldar novos corpos de prova, com porcentagem de mistura, estipulada pelo ensaio do CBR. Estes corpos de prova foram colocados em cura

(15dias), e posteriormente, foram feitos os ensaios de cisalhamento direto, das diferentes amostras, para avaliar as mudanças em suas propriedades mecânicas. Paralelamente a esta etapa do procedimento, foi desenvolvido o ensaio de permeabilidade. Foram moldados três corpos de prova para este fim, solo de referência, solo + 5% CBC e solo + 10 % CBC.

4.1.1. - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio baseia-se na velocidade pela qual as partículas de solo sedimentam-se na água, já que essa velocidade depende da forma e do tamanho das partículas, como diz a Lei de Stokes.

Neste procedimento, utiliza-se uma substância defloculante que tem como finalidade, desagregar os grumos de solo, separando suas partículas para que se obtenha uma análise granulométrica representativa do solo estudado.

Foi analisada uma amostra de solo com massa de 1500 gramas e passado na peneira número 10, o material retido foi lavado com água e colado na estufa para secagem durante 24 horas para a realização do peneiramento grosso. Nesta etapa, são anotadas as quantias, passante e retido, em cada peneira. Do material passante pela peneira de 2mm, foram retirados 70 gramas para o procedimento de sedimentação. O peneiramento foi desenvolvido de forma mecânica, como mostra a Figura 2.



Figura 2: peneirador mecânico

A amostra com defloculante foi colocada no aparelho dispersor aonde ficou durante 15 minutos para a homogeneização o material. Em seguida, foi usada água destilada para que não ficasse solo retido no recipiente. Após sua homogeneização, material foi transferido para um béquer aonde foi anotado sua densidade e sua temperatura inicial. Este procedimento foi repetido em intervalos de tempo indicados em norma (NBR 7181/2016), até um período de 24h. A Figura 3 representa esta etapa do experimento.



Figura 3: béquer usado na sedimentação

Terminadas as leituras do ensaio de sedimentação despejou-se e lavou-se a suspensão na peneira N° 200 (0,074 mm), o material retido na peneira foi transferido para uma cápsula e seco na estufa. O material seco foi passado em um conjunto nas peneiras (1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,25 – 0,15 e 0,074 mm de diâmetro) e levado ao peneirador durante cerca de 5 minutos. Após a vibração pesou-se as proporções retidas em cada peneira.

A curva granulométrica do solo em questão revelou que 20,4% de sua composição é silte e 64% é de argila, de acordo com a NBR 6502/95 que classifica Rochas e Solos para fins de engenharia geotécnica, como pode ser observado na Tabela 1.

d (mm)	% mat. passa	% mat.ret.	MATERIAL*	% do material
50.80	100,0	0,0		
38.10	100,0	0,0	20,0<Pedregulho grosso<60,0	0,0
25.40	100,0	0,0		
19.10	100,0	0,0	6,0<Pedregulho médio<20,0	0,5
9.52	100,0	0,0		
4.76	99,3	0,7	2,0<Pedregulho fino<6,0	1,7
2,00	97,8	2,2		
1.190	97,5	2,5	0,6<Areia grossa<2,0	1,3
0.590	96,5	3,5		
0.420	95,9	4,1	0,2<Areia média<0,6	3,9
0.250	93,8	6,2		
0.149	91,5	8,5		
0.074	88,3	11,7	0,06< Areia fina <0,2	8,2
0.0550	84,4	15,6		
0.0391	83,2	16,8		
0.0278	82,1	17,9		
0.0204	82,1	17,9		
0.0146	79,7	20,3		
0.0107	79,5	20,5	0,002 < Silte < 0,06	20,4
0.0076	77,0	23,0		
0.0055	74,1	25,9		
0.0040	69,3	30,7		
0.0028	68,8	31,2		
0.0020	66,4	33,6	Argila < 0,002	64,0
0.0012	61,7	38,3		

* ABNT - NBR 6502, Rochas e Solos - setembro 1995 (unidade em mm)

Tabela 1: porcentagem passante

O Gráfico 1 retrata a curva granulométrica obtida por sedimentação com defloculante e peneiramento conforme metodologia.

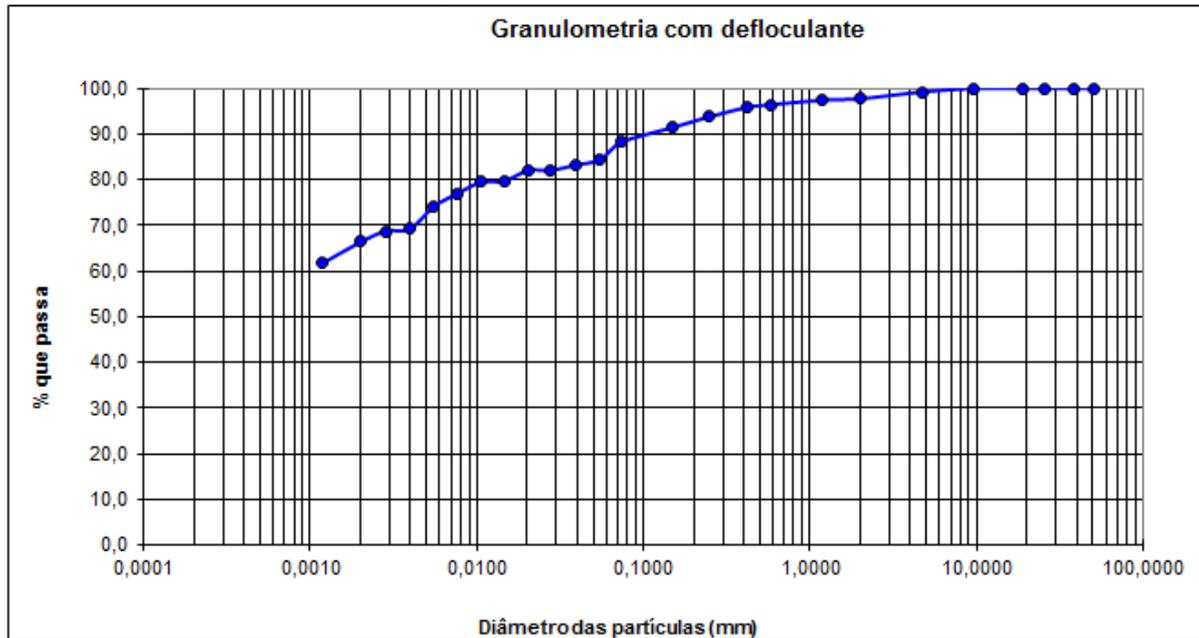


Gráfico 1: curva granulométrica

4.1.2. - LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LIMITES DE ATTERBERG)

Em função da quantidade de água presente em um solo, podemos ter os estados de consistência; líquido, plástico, semi-sólido e sólido. A plasticidade do solo é determinada através de dois ensaios: limite de liquidez e limite de plasticidade.

O limite de liquidez é definido como a umidade de transição entre os estados líquido e plástico de um solo. Experimentalmente, corresponde ao teor de umidade em que a ranhura feita no aparelho de Casagrande se fecha com 25 golpes.

O limite de plasticidade é definido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plásticos e semi-sólidos do solo. Experimentalmente, corresponde ao teor de umidade em que um rolo de solo com 3mm de diâmetro apresenta fissuras. – NBR 7180/1984 e 6459/1984.

Limite de Liquidez

Separou-se 300 gramas de solo (seco ao ar) passantes na peneira #40. Concluída a preparação da amostra, colocou-se a mesma no recipiente e aos poucos se adicionou-se água até obter uma pasta homogênea. Em seguida, com a espátula transferiu-se para a concha do aparelho de Casagrande uma quantidade desta amostra homogeneizada, com um cinzel, dividiu-se a massa de solo em duas partes de tal maneira que a parte central fique com 10 mm de espessura. A Figura 6 mostra o desenvolvimento do ensaio de Casagrande.



Figura 4: aparelho de casagrande

Foram adotados cinco pontos (quantidade de golpes necessários para encostar as partes de solo dividida pelo cinzel), o primeiro com 15 golpes, o segundo com 20 golpes, o terceiro com 25 golpes, o quarto com 30 golpes e o ultimo com 35 golpes, com a margem de erro de um golpe a mais ou a menos. Então ligou-se o aparelho e aplicou-se golpes à massa de solo até que a parte inferior da ranhura se fechasse, após anotar o número de golpes, retirou-se uma pequena quantidade de solo para a determinação da umidade. A Tabela 2 mostra os resultados encontrados.

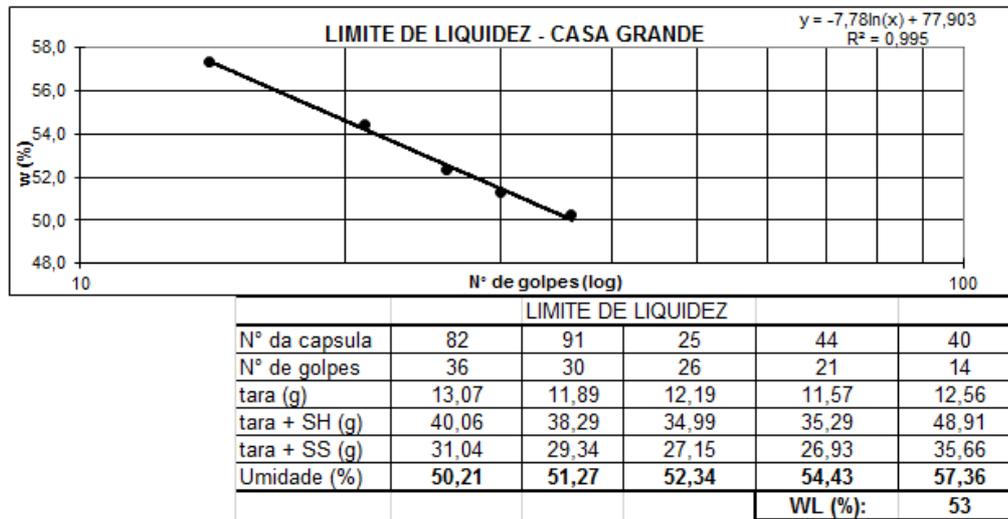


Tabela 2: limite de liquidez

Limite de plasticidade

Atingida a umidade equivalente ao fechamento da ranhura com 25 golpes, moldou-se cinco amostras de solo em formato cilíndrico sobre uma placa de vidro. Quando o cilindro de solo atingiu o diâmetro de três milímetros com comprimento de 10 cm, as amostras foram colocadas em cápsulas, medidas suas respectivas massas e colocadas na estufa a fim de medir a umidade do solo. A figura 5 mostra o desenvolvimento deste ensaio.



Figura 5: limite de plasticidade

A Tabela 3 mostra os resultados encontrados neste ensaio.

	LIMITE DE PLASTICIDADE				
Nº da capsula	55	50	49	54	178
tara (g)	5,56	6,32	6,06	5,77	6,15
tara + SH (g)	7,60	8,31	7,67	7,36	7,78
tara + SS (g)	7,03	7,71	7,19	6,88	7,29
Umidade (%)	38,8	43,5	43,2	44,0	43,7
				WP(%):	43

Tabela 3: limite de plasticidade

O índice de plasticidade dos solos foi obtido utilizando-se a expressão:

$$IP = LL - LP$$

É um parâmetro utilizado na classificação SUCS de solos. Ele consiste na diferença entre o LL (Limite de Liquidez) e o LP (Limite de Plasticidade).

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 53 - 43$$

$$IP = 10$$

Observa-se na Figura 6, o quadro de critérios de classificação de acordo com a metodologia SUCS de classificação de solos, os resultados apontam que o solo em estudo é um silte de alta compressibilidade.

Critérios para atribuição dos símbolos de grupo				Símbolo de grupo	
Solos grossos Mais de 50% de material retido na peneira N ^o 200	Pedregulhos Mais de 50% da fração grossa retida na peneira N ^o 4	Pedregulhos Puros	$C_u \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% de grãos finos ^a	$C_u < 4$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Pedregulhos com Finos	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)	GM	
		Mais de 12% de grãos finos ^{a,d}	$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)	GC	
	Areias 50% ou mais da fração grossa passam na peneira N ^o 4	Areias Puras	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% de finos ^b	$C_u < 6$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	SP	
	Siltes e argilas Limite de Liquidez inferior a 50	Areias com Finos	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)	SM	
		Mais de 12% de finos ^{b,d}	$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)	SC	
Solos finos 50% ou mais passam na peneira N ^o 200		Inorgânico	$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2) ^e	CL	
		Orgânico	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2) ^e	ML	
	Siltes e argilas Limite de liquidez 50 ou superior	Inorgânico	Limite de liquidez – seco em estufa	$< 0,75$; veja a Figura 4.2; zona OL	OL
			Limite de liquidez – não seco		
		Orgânico	IP representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)		CH
			IP representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)		MH
		Limite de liquidez – seco em estufa	$< 0,75$; veja Figura 4.2; zona OH	OH	
		Limite de liquidez – não seco			
Solos Altamente Orgânicos	Matéria primariamente orgânica, de cor escura e odor orgânico			Pt	

Figura 6: metodologia SUCS

4.1.3. - MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS (GS)

Para este ensaio, foram separados 50 gramas passantes na peneira #4,8 mm, adicionando-se água destilada, o suficiente para imergir o material, deixando-o em repouso por 24 horas. Em seguida o material foi colocado em um copo dispersor usando água destilada para garantir que nenhum material ficasse no fundo do recipiente. Levou-se o copo para o aparelho dispersor onde a amostra ficou por quinze minutos.

Após o tempo requerido, a amostra foi colocada no picnômetro, onde o mesmo foi acrescido de água com o auxílio de um funil, a uma distância aproximadamente de dois dedos antes de chegar à sua marca de referência. Em seguida, foi instalado em uma bomba de vácuo onde ficou por 15 minutos, sendo agitado em intervalos regulares de tempo. Ao fim desta etapa, o picnômetro foi posto em banho-maria durante um tempo de 30 minutos, adicionando água destilada para compensar sua evaporação. A Figura 7 representa esta etapa do procedimento.



Figura 7: ensaio com picnômetro

Para finalizar, colocou-se o picnômetro em repouso até que a temperatura do mesmo se equilibre com a do ambiente. Pesou-se o conjunto picnômetro + solo + água, e mediu-se a temperatura do conteúdo com auxílio de um termômetro. A Tabela 4 representa os resultados obtido neste ensaio.

Resultados:

	Umidade higroscópica			Massa específica dos grãos			
Capsula N°	38	50	15	Picnômetro N°	2	1	8
tara (g)	12,16	12,66	11,66	Temperatura (°)	25,6	25,8	26,2
tara + SH (g)	68,71	67,43	68,7	Pic.+água(g)	664,03	665,72	665,18
tara + SS (g)	65,96	64,75	65,9	Pic.+água+solo	693,88	695,43	694,9
Umidade (%)	5,11	5,15	5,16	Massa de solo	50	50	50
		w (%):	5,13	G _s	2,68	2,66	2,66
						G _s	2,67

Tabela 4: massa específica dos grãos

4.2. – COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação é um método utilizado para estabilizar solos, é geralmente realizado por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. Foram preparadas amostras do solo puro e do solo com adição da CBC nas porcentagens 2%, 4%, e 6%. As amostras foram compactadas em moldes cilíndricos com energia proctor modificado.

Estas compactações ocorreram, segundo a NBR 7182, em 5 camadas iguais (cada uma cobrindo aproximadamente um quinto do molde), aplicando-se em cada uma delas 55 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, com o soquete caindo de 0,305m, removeu-se o colarinho e a base, planou-se a superfície do material à altura do molde e pesou-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado, coletando três amostras de solo de cada cilindro para determinação de suas respectivas umidades. A Figura 8 representa alguns moldes confeccionados desta etapa do experimento.



Figura 8: ensaio de compactação

Resultado:

Com a umidade do solo e a diferença de massa entre o cilindro com solo compactado e a do cilindro vazio, organizou-se os Gráficos de 2 ao 7 como mostra a sequência a seguir:

Curva de compactação solo de referência.

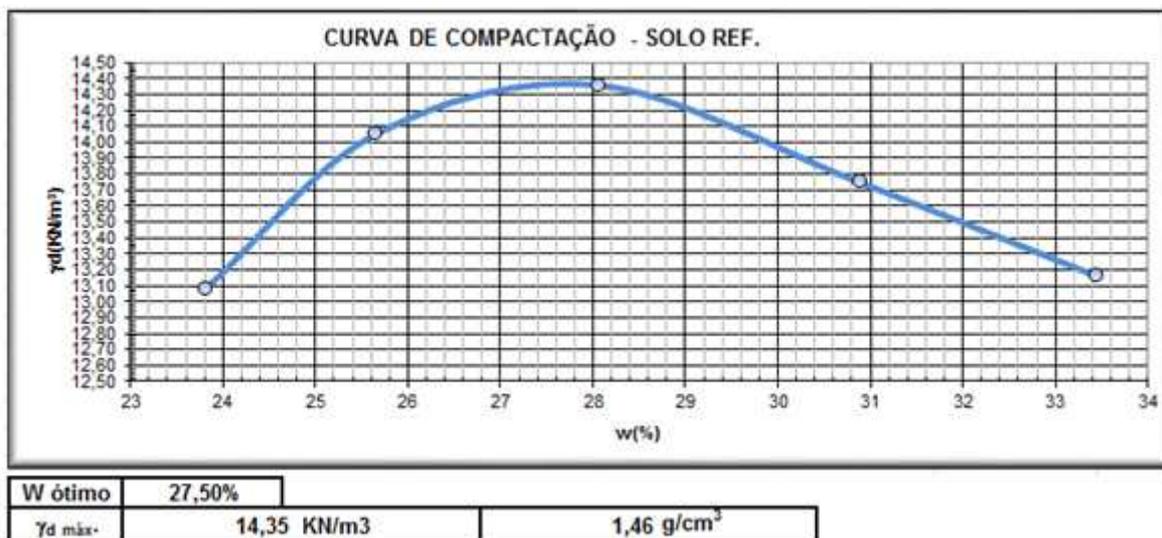


Gráfico 2: curva solo de referência

Curva de compactação solo + 2% CBC

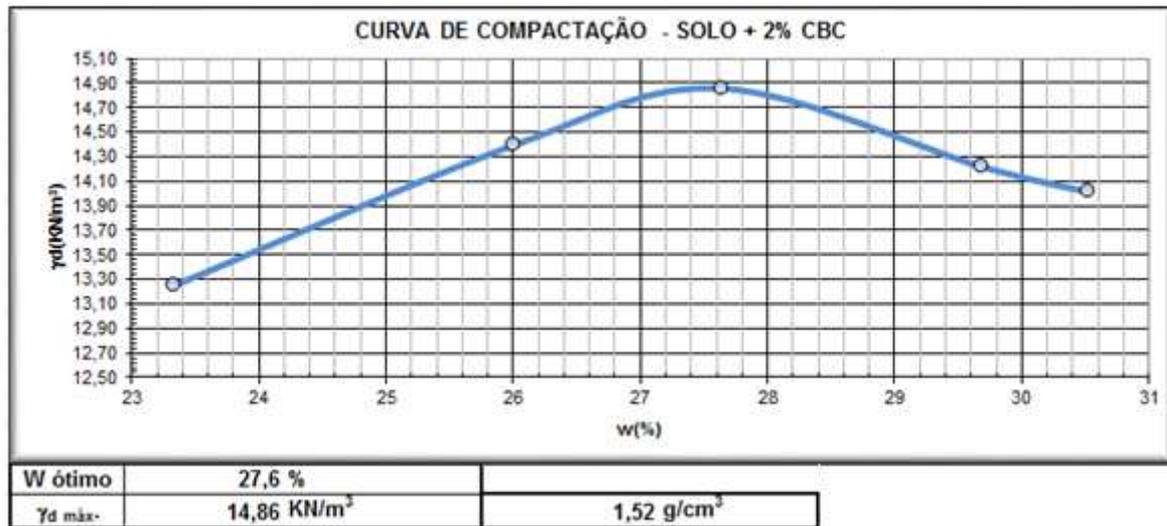


Gráfico 3: curva solo + 2% CBC

Curva de compactação solo + 4% CBC.

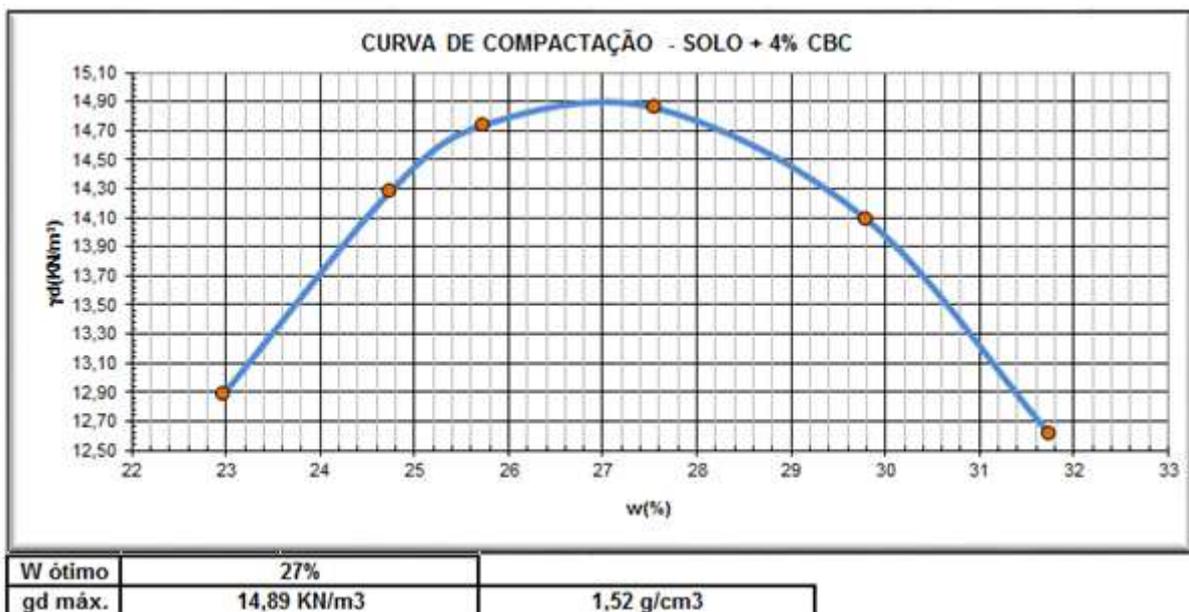


Gráfico 4: curva solo + 4% CBC

Curva de compactação solo + 6% CBC.

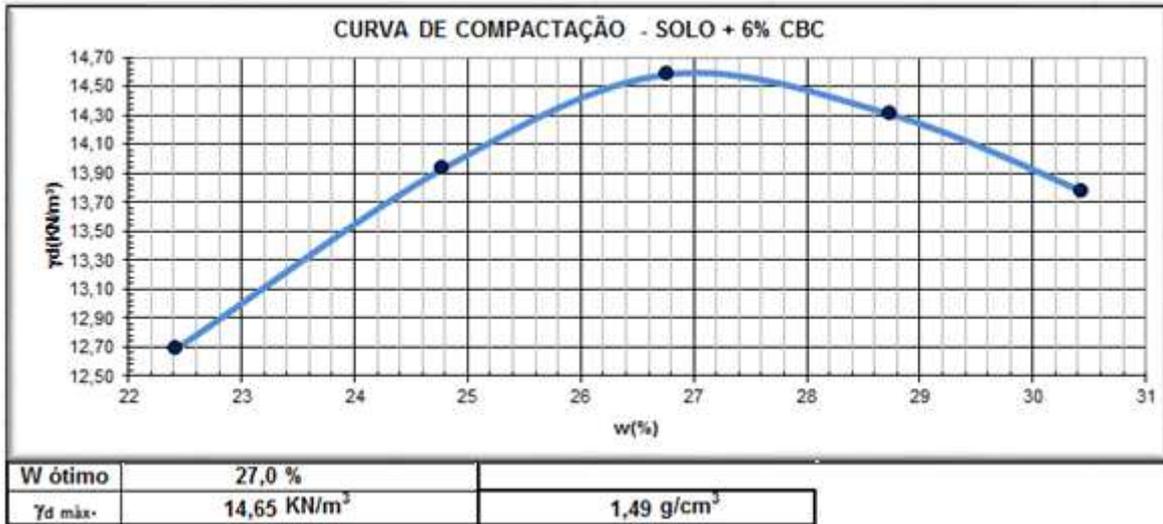


Gráfico 5: curva solo + 6% CBC

Curva de compactação solo + 8% CBC.

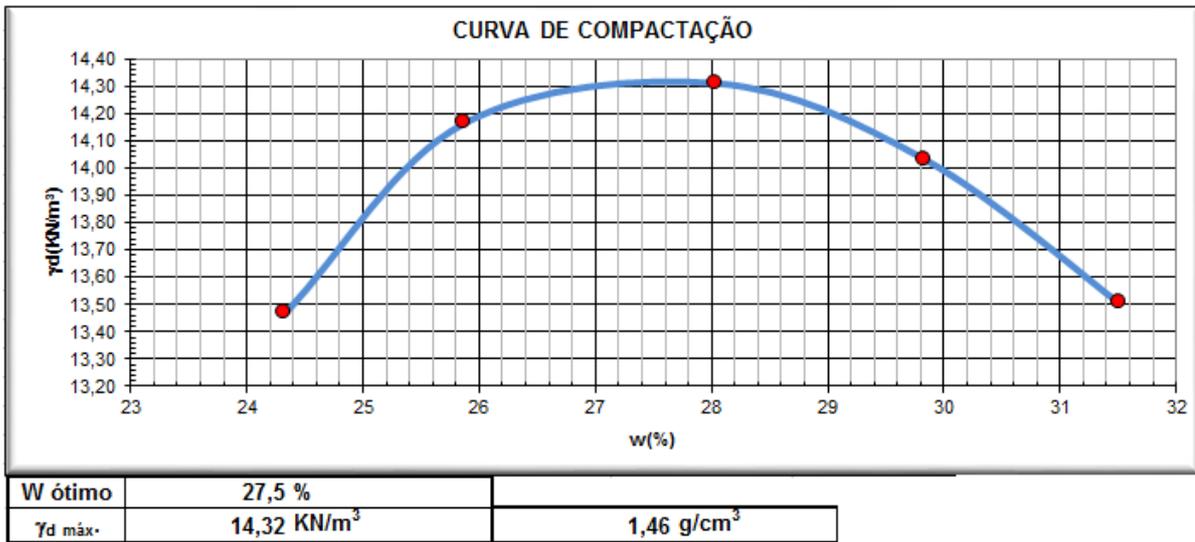


Gráfico 6: curva solo + 8% CBC

Curva de compactação solo + 10% CBC

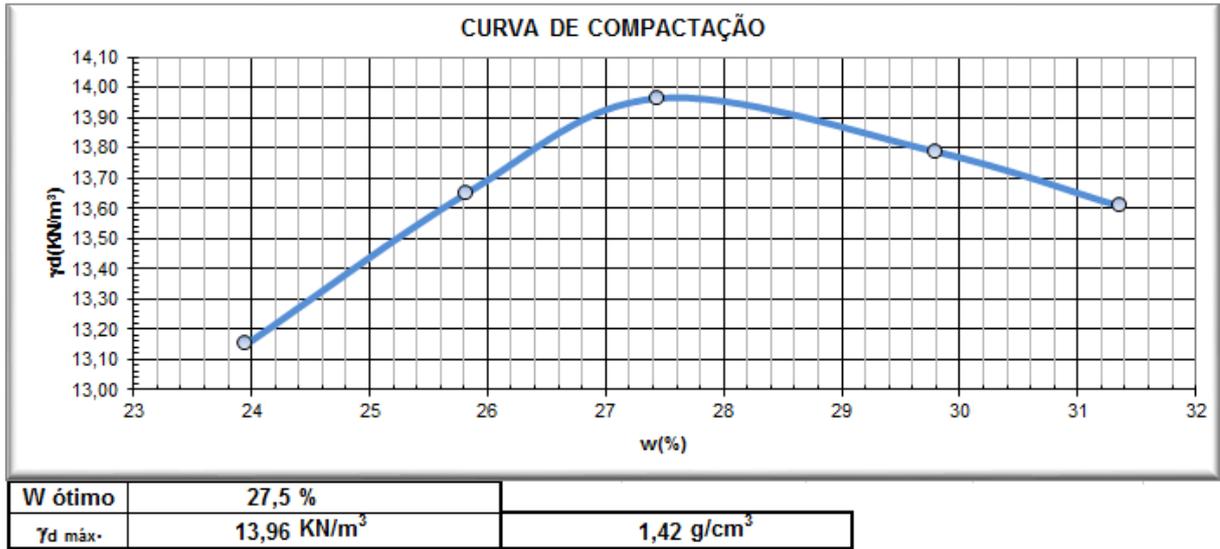


Gráfico 7: curva solo + 10% CBC

Comparativo entre as curvas de compactação

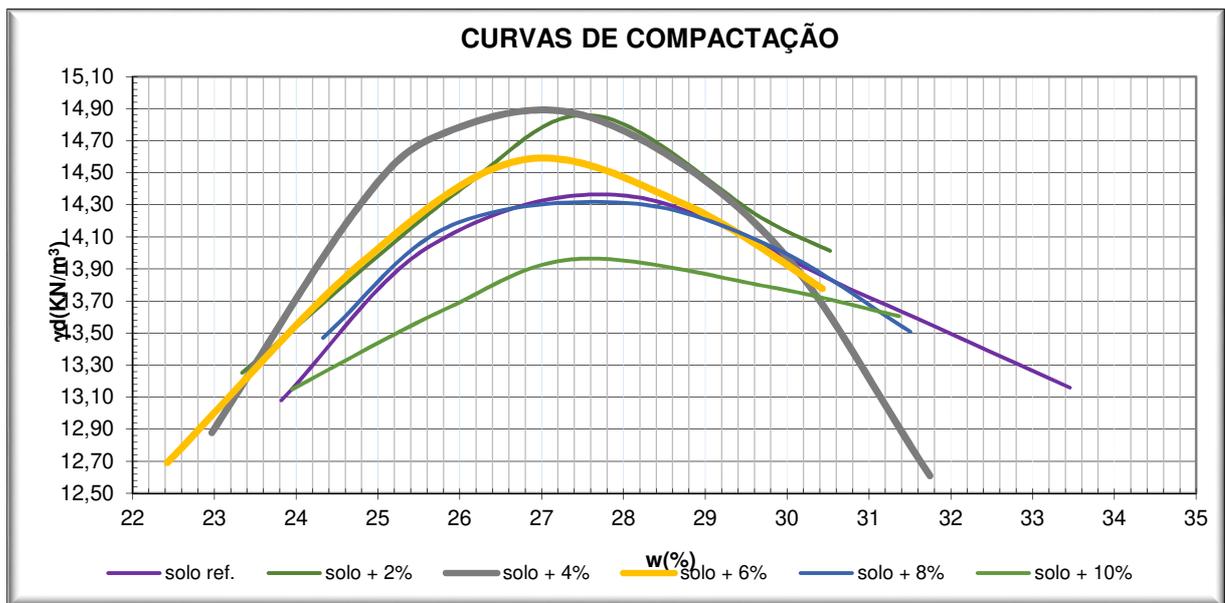


Gráfico 8: comparativo entre as curvas de compactação

O Gráfico 8, representa todas as curvas juntas, mostra que mesmo com a adição das cinzas no solo, a umidade ótima permaneceu em torno de 27%, já o peso específico teve seu maior resultado na mistura solo + 4% CBC, como mostra o Gráfico 9.

Comparativo entre os Pesos Específicos das amostras.

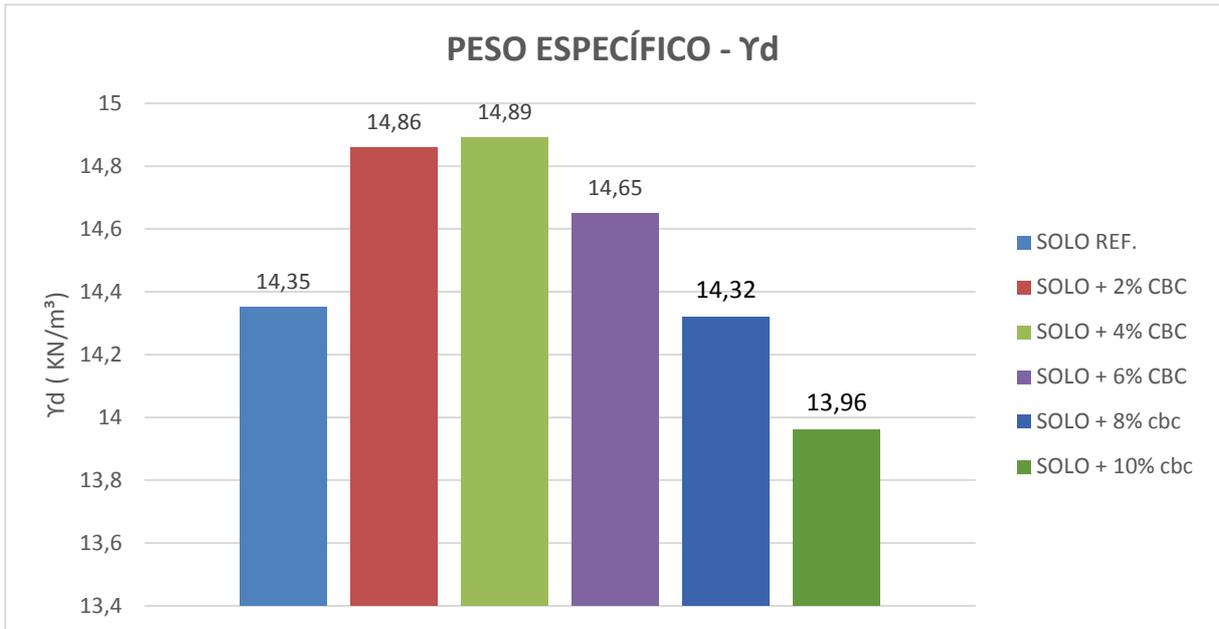


Gráfico 9: comparativo entre os pesos específicos das amostras

4.3. - ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR - Califórnia Bearing Ratio) é a relação, em porcentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo até determinado ponto e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão de brita graduada. Através do ensaio de CBR é possível conhecer qual será a expansão de um solo sob um pavimento quando este estiver saturado, e fornece indicações da perda de resistência do solo com a saturação. Logo após a compactação, o cilindro que estava com a umidade ótima foi preparado e colocado em um tanque de vinil cheio de água para a sua saturação. Ficou imerso durante 96 horas, de tal forma que a água entrasse tanto pelo topo quanto pela base. Realizou-se leituras de deformação

(expansão ou recalque) com aproximação de 0,01mm a cada 24h. Terminada esta etapa, deixou-se escorrer a água do corpo de prova durante 15 minutos e pesou-se o cilindro + solo úmido.

Instalou-se o conjunto, molde cilíndrico com corpo de prova e sobrecarga, na prensa e assentou-se o pistão da prensa na superfície do topo do corpo de prova, e em seguida instalou-se os extensômetros. Aplicou-se o carregamento com velocidade de 1,27 mm/min, anotando-se a carga e a penetração a cada 30 segundos até decorridos o tempo de 6 minutos. A figura 9 representa esta etapa do procedimento.



Figura 9: ensaio de CBR

Os dados coletados neste ensaio foram tabulados e forneceram resultados ilustrados nos Gráficos 10 ao 15, como mostra a sequência a seguir:

Resultados:

ISC - Solo de Referência

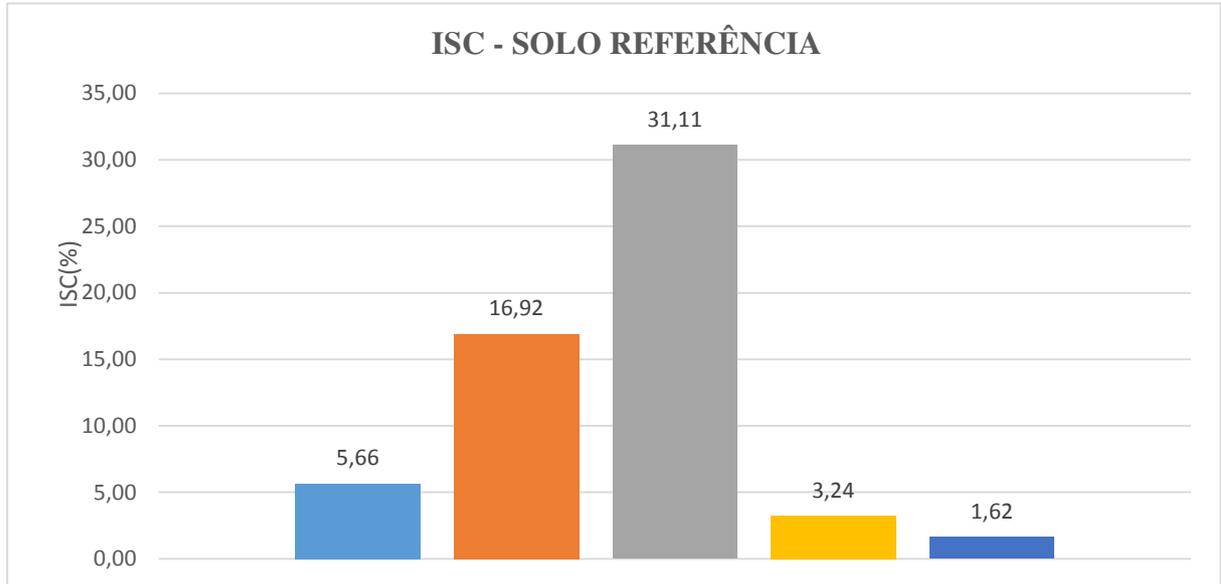
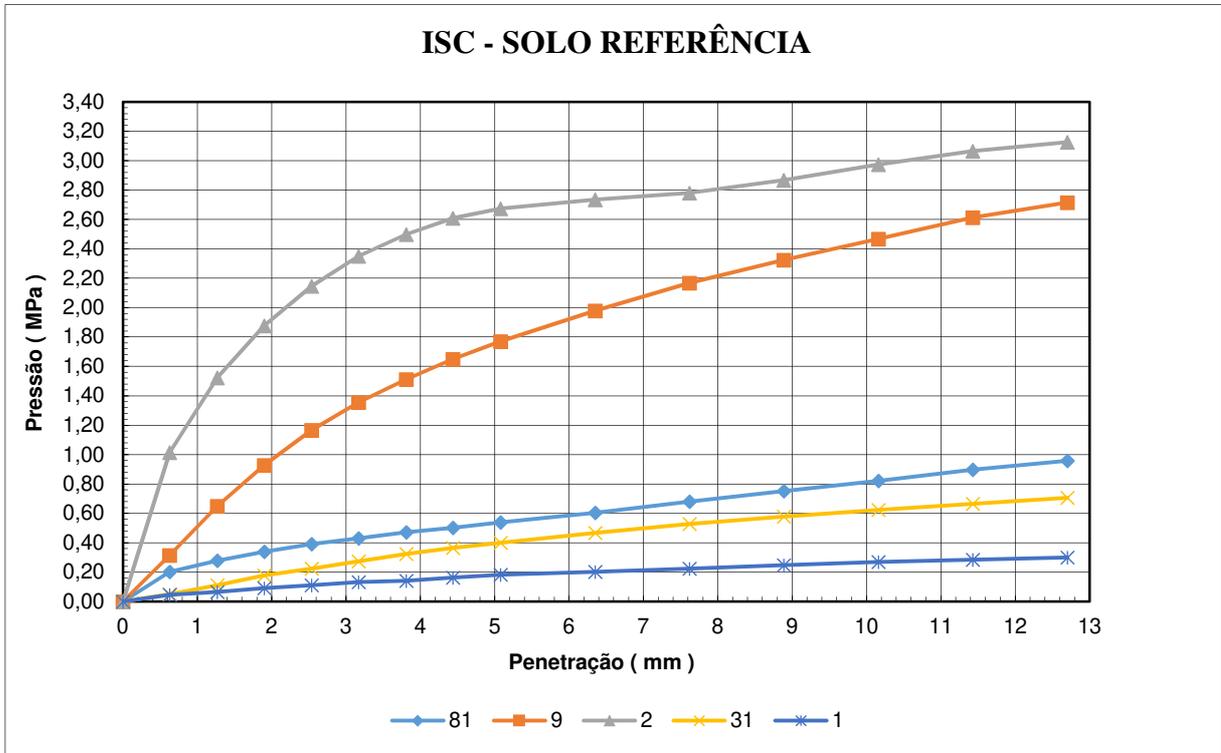


Gráfico 10: ISC solo de referência

ISC – Solo + 2% CBC

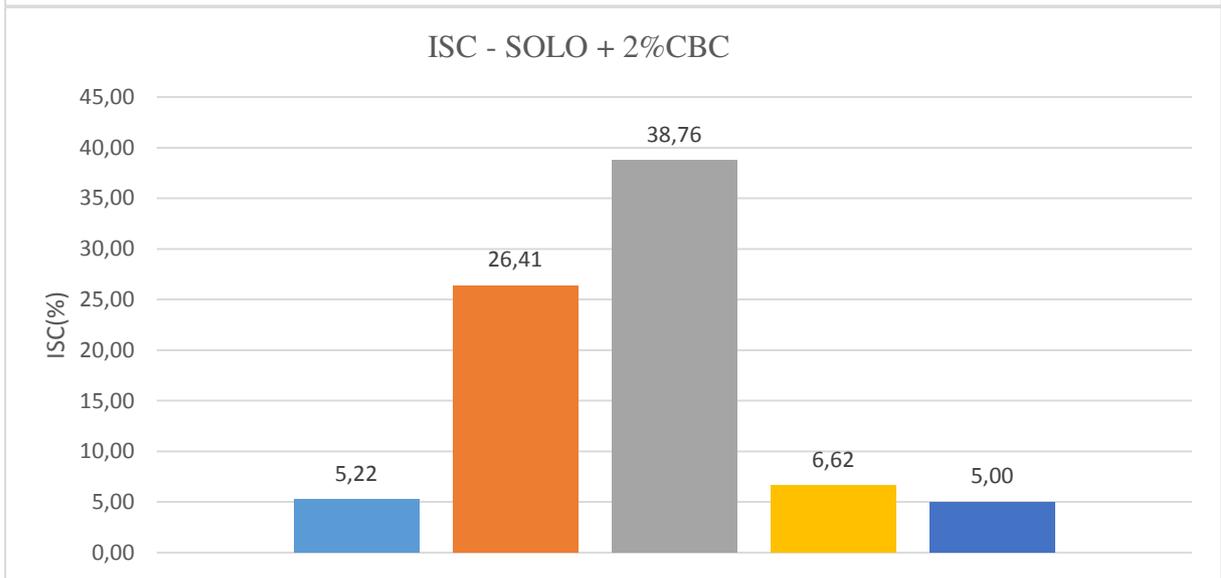
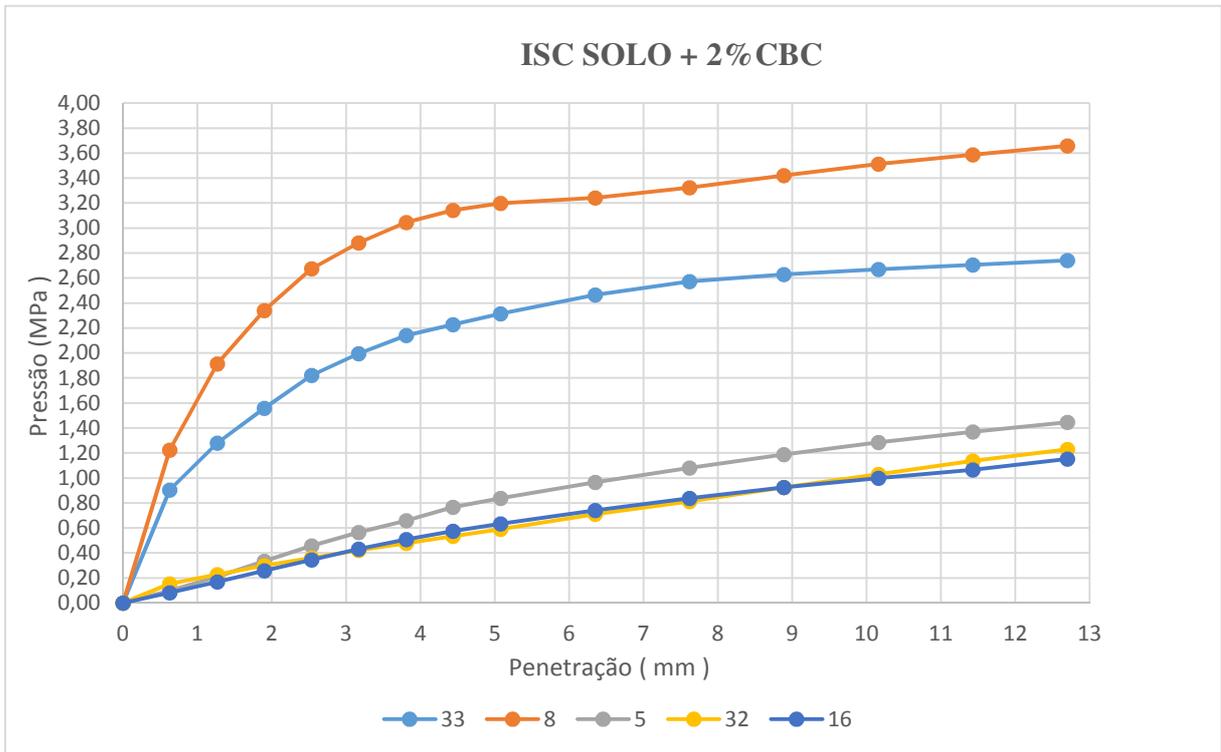


Gráfico 11: ISC solo + 2% CBC

ISC – Solo + 4% CBC

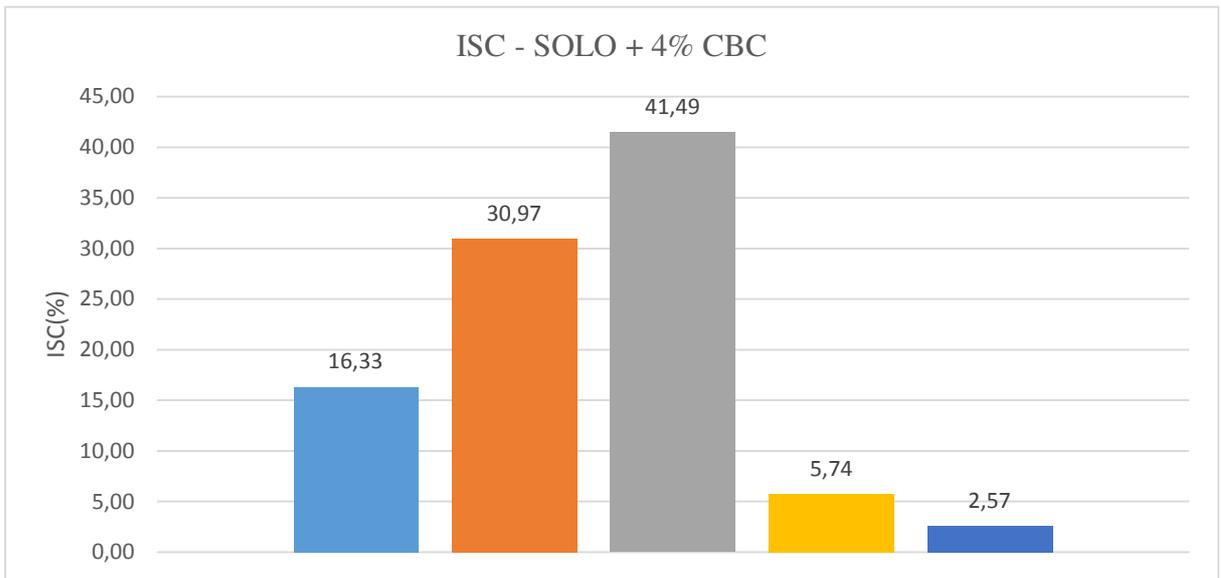
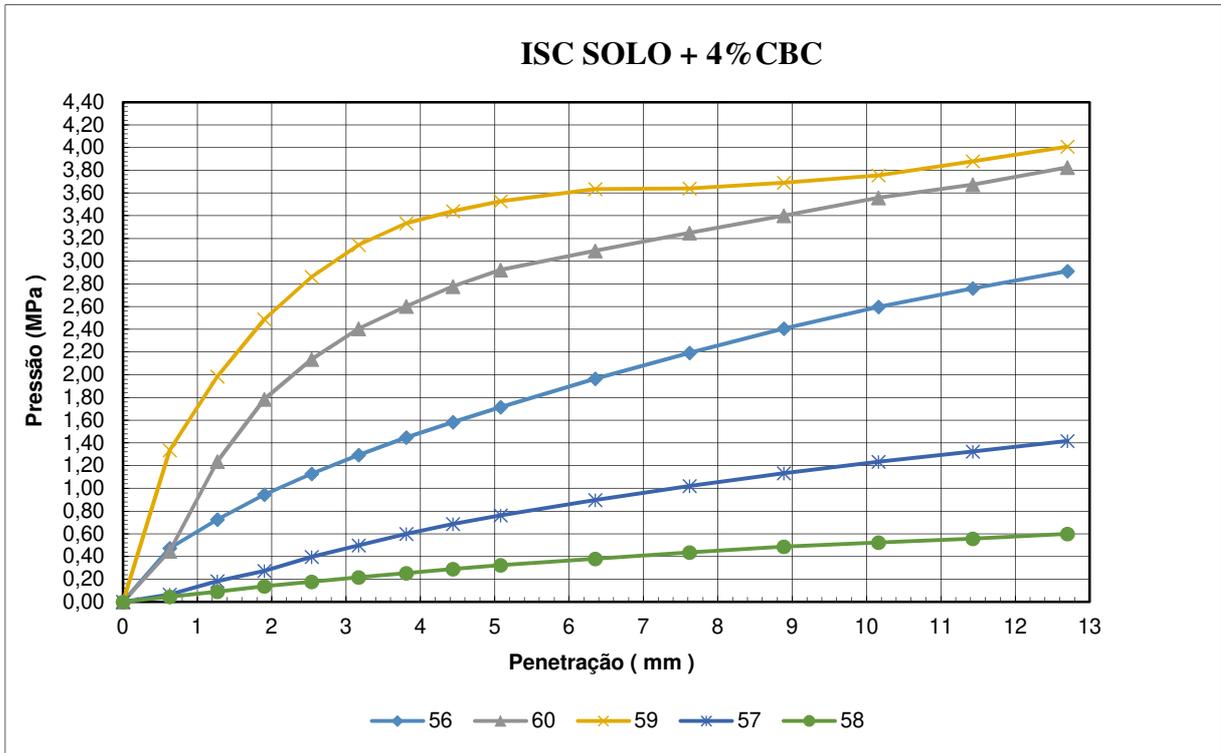


Gráfico 12: ISC solo + 4% CBC

ISC – Solo + 6% CBC

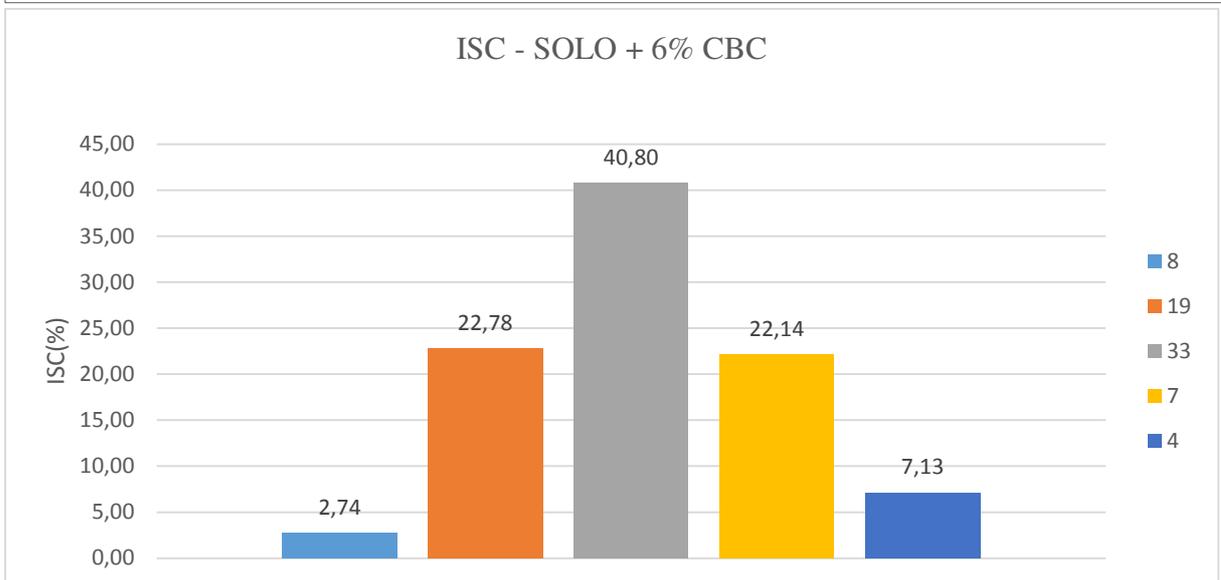
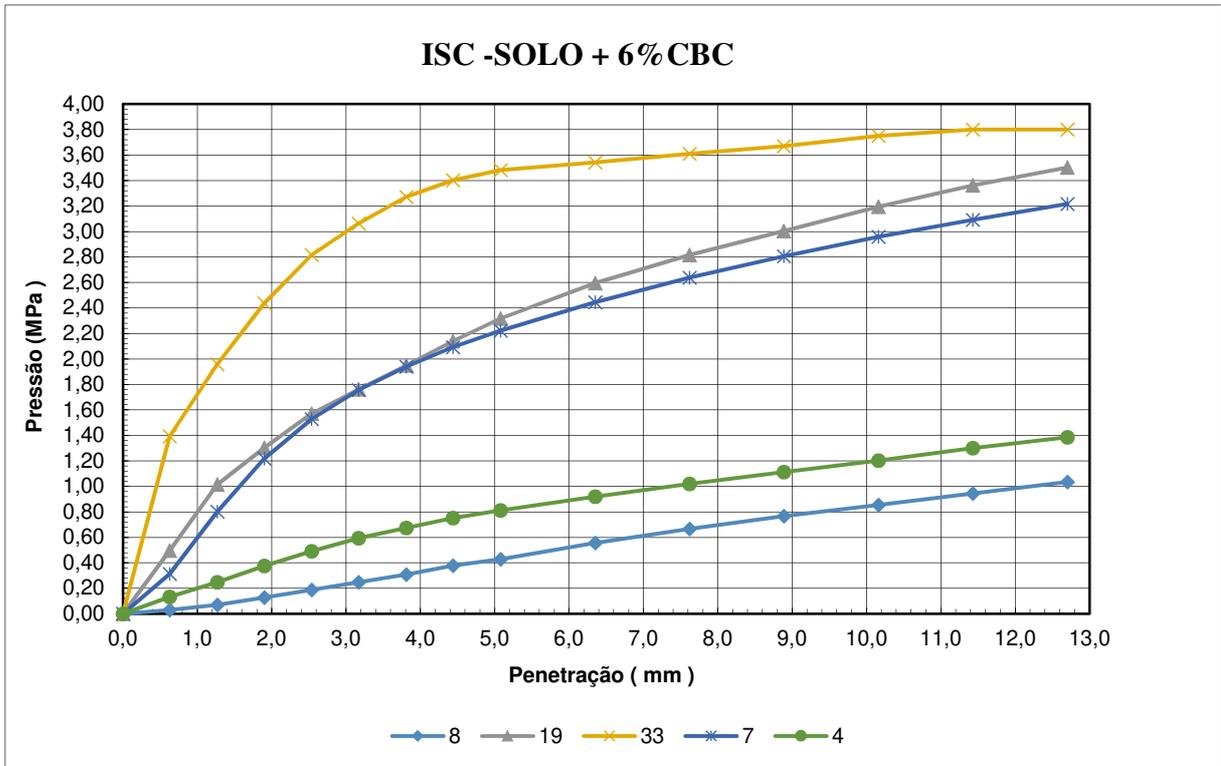


Gráfico 13: ISC solo + 6% CBC

ISC – Solo + 8% CBC

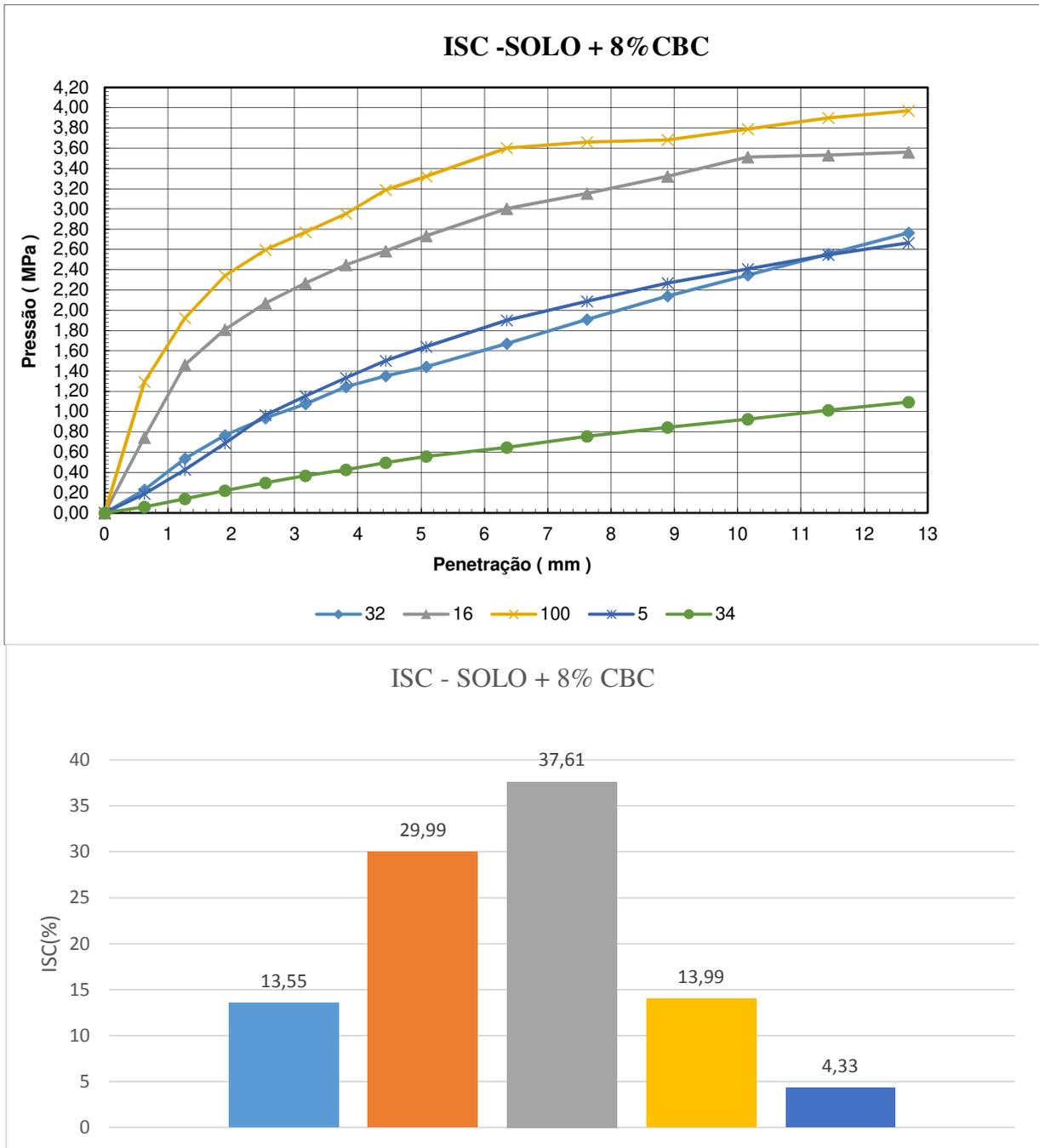


Gráfico 14: ISC solo + 8% CBC

ISC – Solo + 10% CBC

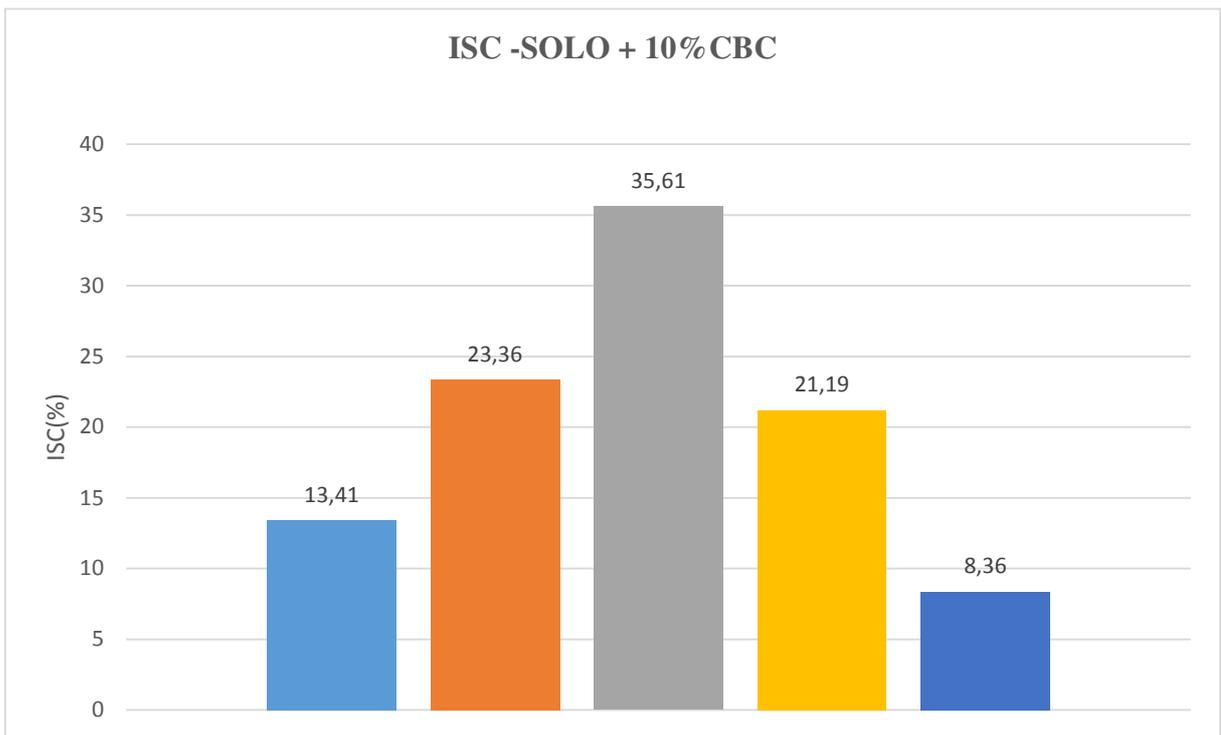
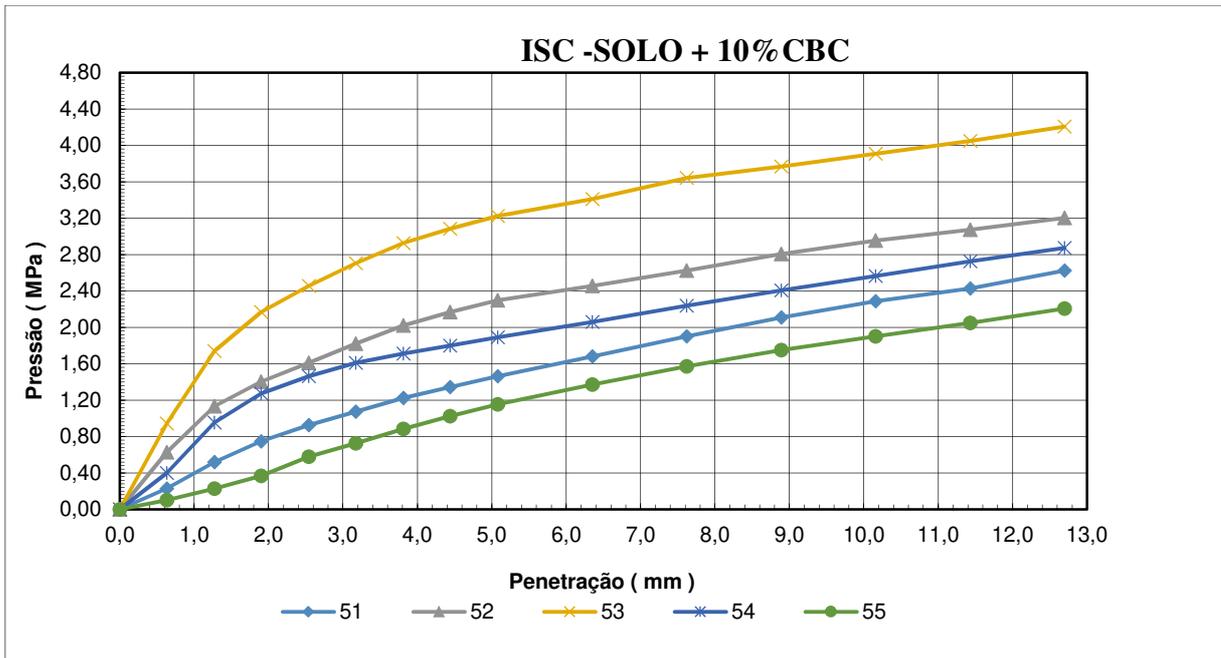


Gráfico 15: ISC solo + 10% CBC

O gráfico 16 demonstra os resultados obtidos com a realização deste ensaio, a resistência a penetração de todas as adições da CBC aumentou mais de 14%, tendo seu pico na mistura solo + 4% CBC, ficando mais de 30% maior. Todos comparados com o solo de referência.

Comparativo ISC das amostras

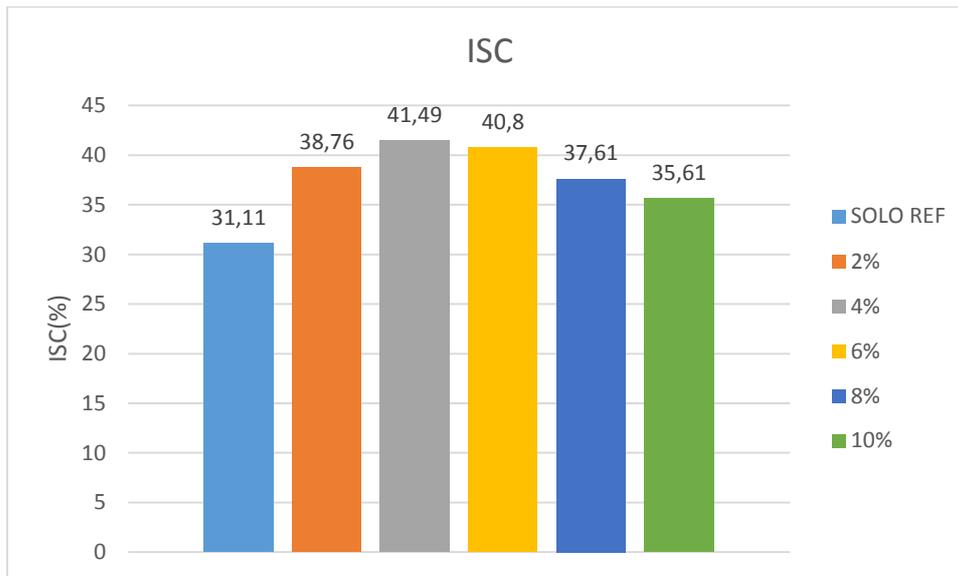


Gráfico 16: comparativo ISC das amostras

4.4. - CISALHAMENTO DIRETO

O ensaio de cisalhamento, conforme a norma ASTM D3080 ocorre quando há ruptura do material, geralmente é devido a aplicação de carregamentos externos na superfície ou proveniente da própria massa de solo, que contribui para o desenvolvimento de tensões tangenciais cisalhantes que podem ser próximas a máxima tensão cisalhante suportada pelo solo.

O ensaio de cisalhamento direto é o mais comum, utilizado para a determinação da resistência a ruptura de um corpo de prova. Nesse ensaio, quando o corpo de prova é levado à ruptura, a tensão de cisalhamento e tensão normal definem os pontos de tensões do solo, e com a aplicação de diferentes valores de tensão normal em várias amostras é possível definir a resistência de um solo. O ensaio caracteriza-se por impor um plano de cisalhamento ao corpo de prova.

A avaliação foi feita entre as amostras com mistura (as que obtiveram melhor resultado no ensaio de CBR), e a amostra do solo de referência. O rompimento é feito por uma força horizontal na amostra, que está submetida a uma tensão normal, perpendicular ao eixo de deslocamento. O estudo foi feito com 4 tensões normais diferentes, sendo elas: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa. A célula utilizada foi quadrada, de lado igual a 5,07cm e altura igual a 1,98cm.

O critério de ruptura para obtenção da coesão e do ângulo de atrito foi o de Mohr-Coulomb, o qual se avalia a linha de tendência que se forma ao tentar unir os pontos de tensão normal e tensão cisalhante resultados do ensaio. Através da função gerada, o coeficiente angular é a tangente do ângulo de atrito, e o coeficiente linear é a coesão. Como mostra a equação abaixo:

$$\tau = \sigma' \times \tan\phi + c'$$

O método utilizado nesse estudo foi com a amostra na condição não saturada, a velocidade de cisalhamento teve como referência o ensaio de adensamento, a escolhida foi a de 0,042 mm/min, valor este, bem inferior ao resultado obtido por este ensaio. Foi estabelecido um deslocamento de 10mm para finalizar o ensaio. A Figura 10 representa como foram talhados, o solo de referência e os solos + as porcentagens da CBC, compactado na umidade ótima, e como ficaram as amostras após a realização do ensaio.



Figura 10: ensaio de cisalhamento direto

Após a realização dos ensaios de cisalhamento direto, os dados coletados foram tabulados e expressos nos Gráficos 17 ao 22, como mostra a sequência a seguir.

Cisalhamento Solo Referência

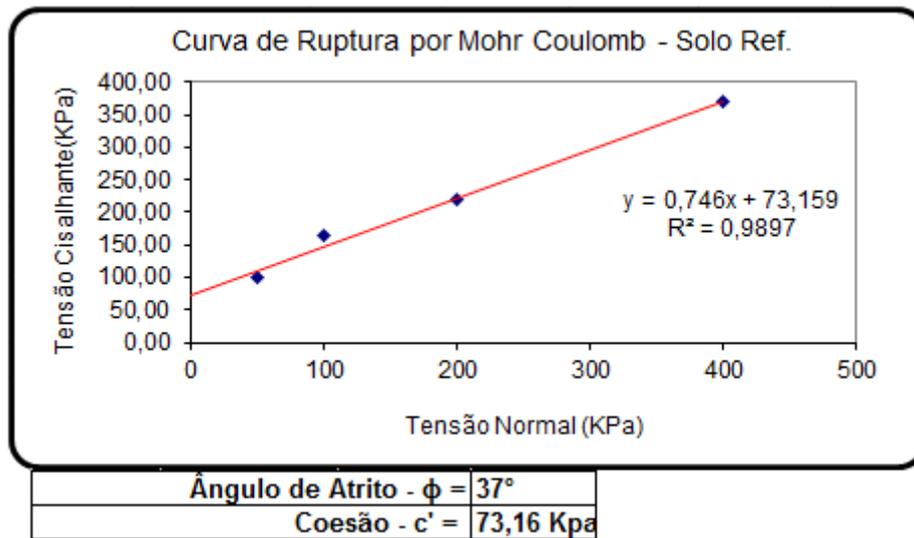


Gráfico 17: cisalhamento solo de referência

Cisalhamento Solo + 2% CBC

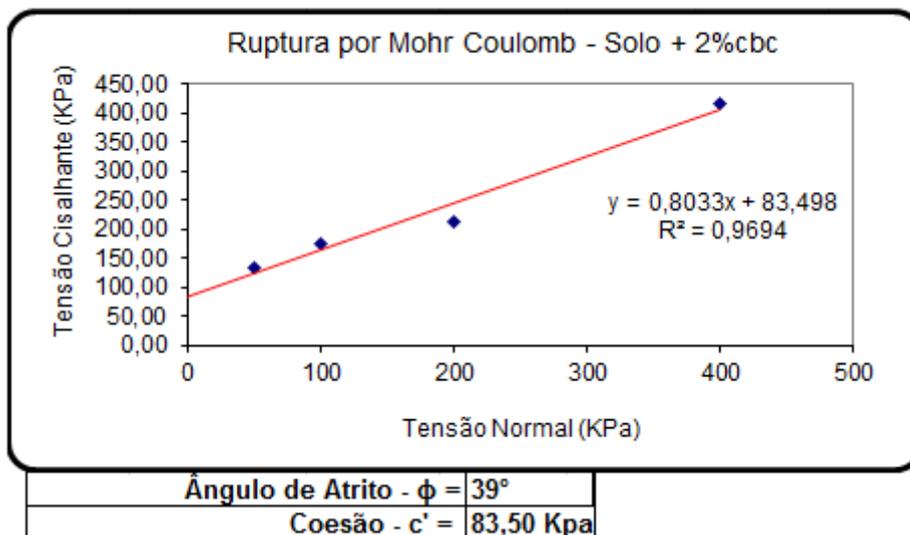
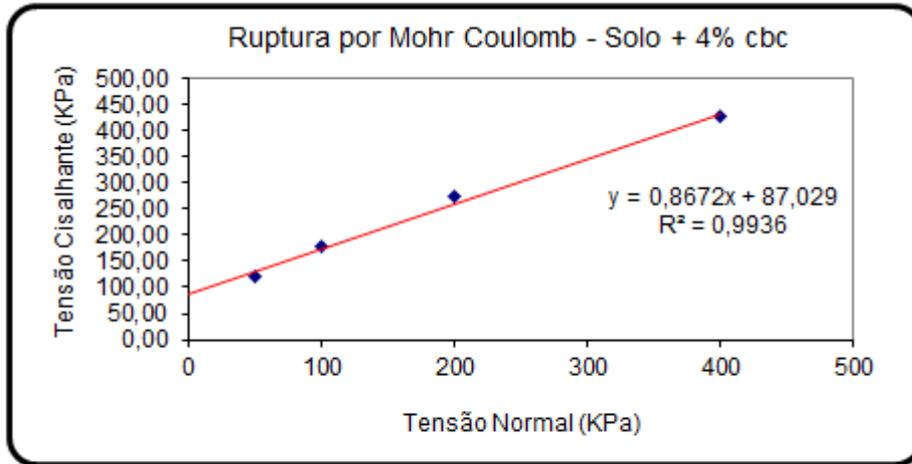


Gráfico 18: cisalhamento solo + 2% CBC

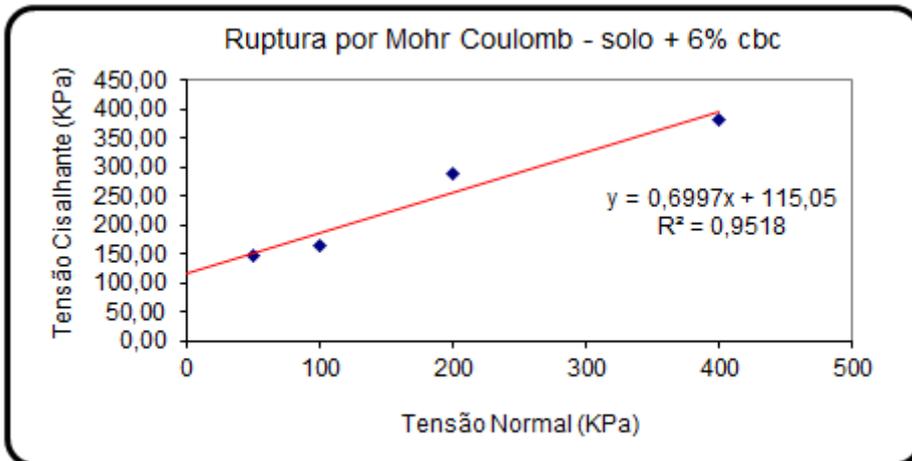
Cisalhamento Solo + 4% CBC



Ângulo de Atrito - ϕ = 41°
Coesão - c' = 87,03 Kpa

Gráfico 19: cisalhamento solo + 4% CBC

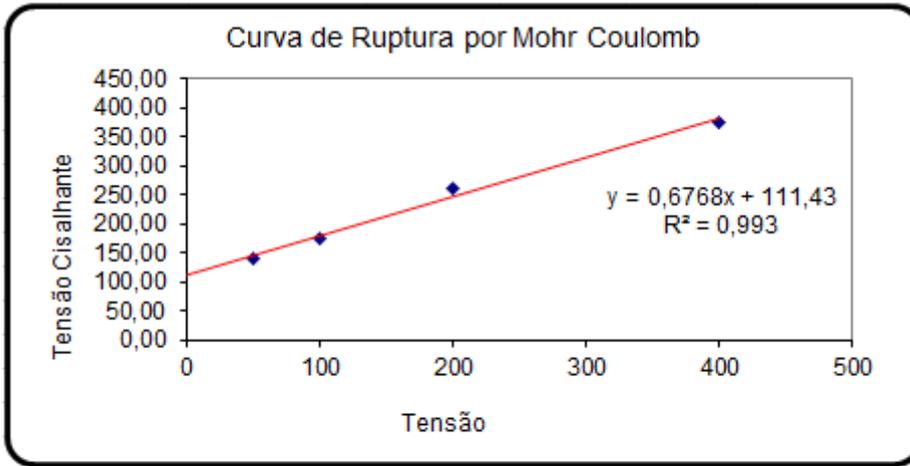
Cisalhamento Solo + 6% CBC



Ângulo de Atrito - ϕ = 35°
Coesão - c' = 115,05 Kpa

Gráfico 20: cisalhamento solo + 6% CBC

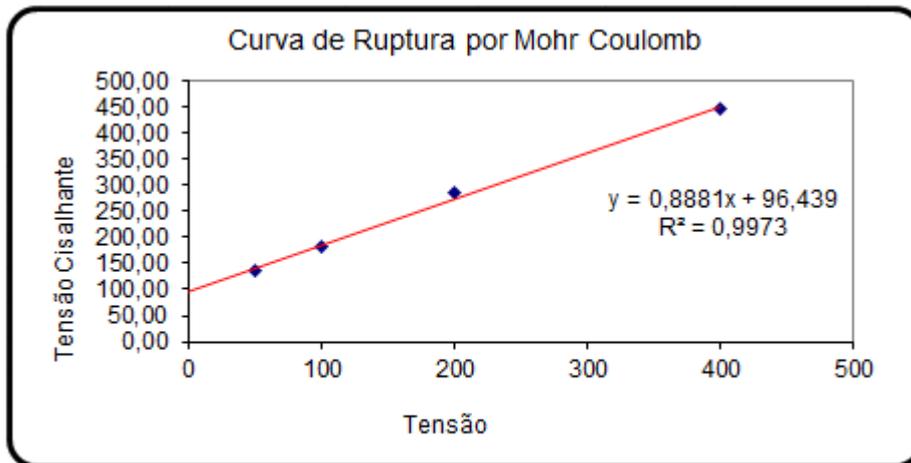
Cisalhamento Solo + 8% CBC



Ângulo de Atrito - ϕ =	34°
Coesão - c' =	111,4Kpa

Gráfico 21: cisalhamento solo + 8% CBC

Cisalhamento Solo + 10% CBC



Ângulo de Atrito - ϕ =	42°
Coesão - c' =	96,4Kpa

Gráfico 22: cisalhamento solo + 10% CBC

Comparativo entre o ângulo de Atrito e a Coesão das amostras.

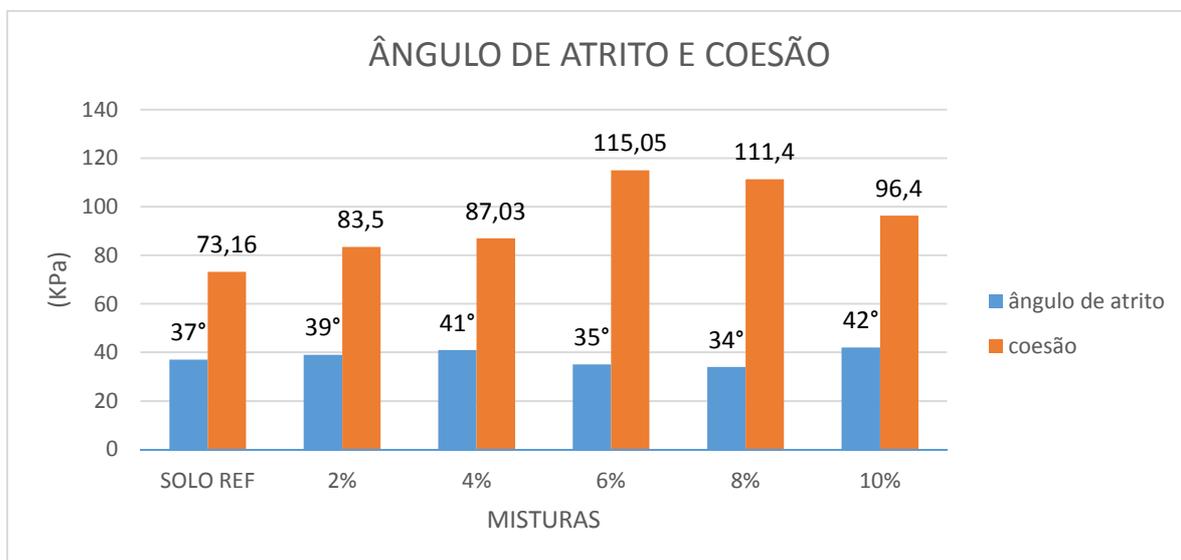


Gráfico 23: comparativo entre os ângulos de atrito e das coesões das amostras

Observou-se com os resultados obtidos no gráfico 23, que o ângulo de atrito aumentou em até 11%, considerando as misturas solo + 4% CBC, e solo + 10 % CBC. Na comparação com a coesão, todas as misturas tiveram melhoras, tendo aumento mais significativo na adição de 6% da CBC.

4.5. PERMEABILIDADE:

Além de ser uma das propriedades do solo com maior faixa de variação de valores, o coeficiente de permeabilidade de um solo depende de diversos fatores, dentre os quais podemos citar a estrutura do solo, estratificação do terreno, o grau de saturação e o índice de vazios. A Figura 11 demonstra como foi desenvolvida a montagem deste experimento. As amostras 1, 4 e 5 são respectivamente, solo referência, solo + 5% CBC e solo + 10% CBC.



Figura 11: ensaio de permeabilidade

Quando a permeabilidade é muito baixa, a determinação pelo permeâmetro de carga constante é pouco precisa. Emprega-se, então, o de carga variável, de acordo com a NBR 14545/2000. Não foi possível executar este ensaio para todas as porcentagens dos ensaios anteriores, por este motivo foram moldados três corpos de prova; solo de referência, solo + 5% CBC, e solo + 10% CBC. Não tivemos saturação da amostra de referência, para as outras amostras os resultados estão expressos na Tabela 5.

AMOSTRAS	K (cm/s)
Solo de referência	-
Solo + 5% CBC	$5,22 \times 10^{-8}$
Solo + 10% CBC	$7,99 \times 10^{-8}$

Tabela 5: ensaio de permeabilidade

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados na caracterização do solo apontam para um silte de alta compressibilidade. A umidade ótima do solo de referência e das adições de cinzas ficaram praticamente constantes, variando entre 27,5%. Houve um aumento inicial no peso específico com relação ao solo de referência e a misturas solo + 2% CBC e solo + 4% CBC, ambas ficando com seus valores bem próximos. Notou-se que a CBC ajudou na organização dos grãos de solo, tornando estes, mais próximos uns dos outros, Em seguida, observou-se uma ligeira diminuição nas misturas seguintes (6%, 8%, 10%), justificada com a substituição do solo pela CBC. Em termos percentuais, a diferença entre os resultados não passou de 4%.

O ISC da mistura solo + 4% CBC foi aproximadamente 34% maior, passando desta porcentagem, os índices foram decaindo mas permanecendo 14% superior, todos comparados com o solo de referência. No cisalhamento direto, observou-se um aumento de 11% no ângulo de atrito das misturas solo + 4% CBC, e solo + 10% CBC quando comparados ao solo de referência. Interessante observar que a coesão aumentou em todas as amostras com adição da CBC, resultado este que vai ao encontro da suspeita de elementos sílicos na composição das cinzas, já que a coesão está diretamente ligada a atração química entre as partículas (potencial atrativo de natureza molecular e coloidal).

Os resultados obtidos demonstram que as cinzas do bagaço de cana de açúcar melhoraram características do solo em relação a sua resistência a penetração e em sua resistência ao cisalhamento. No ensaio de permeabilidade notou-se um aumento de seu coeficiente a medida que adicionou-se cinzas ao solo. Ao dobrarmos a porcentagem de cinzas, notou-se um aumento de 50% no coeficiente de permeabilidade através dos resultados obtidos. Conclui-se que as cinzas, apesar de muito fina, aumente a percolação da água no solo.

Importante ainda ressaltar que estes são apenas estudos preliminares, tornando prematuro avaliar se a CBC pode mesmo ser usada para a melhoria do solo, pois ao desenvolver a pesquisa, notou-se que após a cura de 15 dias para a realização do ensaio de cisalhamento direto, as amostras com adição da CBC desenvolveram colônias de fungos(mofaram), mostrando que é importante estudar o comportamento destas misturas ao longo do tempo para fazer um diagnóstico mais apurado na viabilidade do uso do bagaço da cana de açúcar na melhoria do solo.

5.1. - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Considerando a importância do assunto abordado no trabalho, sugere-se que o estudo das cinzas do bagaço da cana de açúcar, seja aprofundado e são listadas abaixo algumas sugestões para desenvolvimento de pesquisas futuras:

- Fazer uma análise química das cinzas, com o objetivo de avaliar o teor de sílica de sua composição.
- Repetir os ensaios com maiores porcentagens da CBC para avaliar prováveis tendências de comportamento.
- Realizar ensaio de permeabilidade, para estudar como se comporta a percolação da água com as diferentes adições da CBC no solo.
- Estudar a variação das características físicas e mecânicas do solo ao longo do tempo com adição da CBC.
- Estudar o comportamento do solo com adições de cinzas do bagaço da cana de açúcar e do solo com adições de cimento Portland, nas mesmas porcentagens.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT:

_NBR 7181/1988: Solo - Análise granulométrica.

_NBR 6457/1986: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

_NBR 6508/1984: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.

_NBR 7183/1982: Determinação do limite e relação de contração de solos.

_NBR 9895/1987: Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de ensaio.

_NBR 7182/1988: Solo - Ensaio de compactação.

_NBR 6458/1988: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

NBR 14545/2000: Determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos argilosos a carga variável.

ARAKI, M. S. (1997). Aspectos relativos às propriedades dos solos colapsíveis do Distrito Federal. Brasília/DF. Dissertação de Mestrado. Publicação GDM-040/97. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 121p.

CAMELO, D.; SILVA, G. N.; et al. Contribuição ao estudo de aproveitamento da cinza da casca da castanha-do-pará como material pozolânico. 2005. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto –

CORDEIRO, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concretos. 2006. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

CASTRO, B. C. (2011). Modelo Geomecânico para os Principais Solos de Brasília. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-202/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179 p

DAS, B. M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução da 6ª. Edição Norte-Americana. São Paulo, SP, Brasil: CENGAGE Learning, 2006, 632 p.

DELGADO, A. K. (2007). Estudo do comportamento mecânico de solos tropicais característicos do Distrito Federal para uso na pavimentação rodoviária. 2007. Tese de doutorado – Departamento de

Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília.

FREITAS, E. de S. Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Rio de Janeiro, 2005.

LIMA, S. A. et al. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 87-97, 2009.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2. ed. São Paulo: Pini. 1997. 828p.

NOGAMI, J.S., Villibor, D.F.(1995). Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo/SP, Volume único, p.18-21.

NUNES; Vanderlei; Secchi e Abe (2008). Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. Revista Tecnológica, v. 17, p. 39-48, 2008.

PAULA.M. O. Potencial da cinza do bagaço da cana de açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland. UFV, 2006.

PINTO, T. P.(1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. Tese de doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

POGGIALI, F S J. Desempenho de microconcretos fabricados com cimento Portland com adição de cinzas de bagaço de cana de açúcar. Dissertação de Mestrado. UFMG.2010.

SOUZA, G. N; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-açúcar. 2007.

VILLAR, L. F. S. et al Dep. de Eng. de Transportes e Geotecnia (2007).Relação Entre a Resistência a Tração Obtida via Ensaio Brasileiro, a Sucção e Índices Físicos de um Solo. Acesso em 20 de Abril de 2017.

V. L. M. M. Silva et al.(2007). Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. Campina Grande – PB. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2, 1 (2007)27-32