



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB – PLANALTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE MATERIAIS

MATHEUS GENEROSO CANEDO ORNELAS

Efeito mecânico do talco de turfa adicionado à argamassa

Orientadora: Dra. Artemis Marti Ceschin

PLANALTINA

2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB – PLANALTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE MATERIAIS

MATHEUS GENEROSO CANEDO ORNELAS

Efeito mecânico do talco de turfa adicionado à argamassa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Faculdade UnB Planaltina da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência de Materiais.

Orientadora: Dra. Artemis Marti Ceschin

PLANALTINA

2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G74e Generoso Canedo Ornelas, Matheus
Efeito mecânico do talco de turfa adicionado à argamassa /
Matheus Generoso Canedo Ornelas; orientador Artemis Marti
Ceschin. -- Brasília, 2020.
59 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciência de Materiais)
-- Universidade de Brasília, 2020.

1. Talco de turfa. 2. Resistência mecânica da argamassa.
3. Emissão de CO2. I. Marti Ceschin, Artemis, orient. II.
Título.

“Este trabalho é inteiramente dedicado ao meu pai Laerte (in memoriam), que sempre me apoiou nos meus projetos.”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais que por diversas vezes me ensinaram o valor do conhecimento e fizeram de tudo para que eu alcançasse meus objetivos.

Aos meus irmãos por todo apoio, paciência em me ouvir e por me dar sempre os melhores conselhos. Por toda a calma em falar que eu não deveria desistir.

À Giulia, por ter me ajudado bastante em leitura de trabalhos em inglês, mesmo com os momentos ruins que estava passando.

A minha orientadora, Dr^a Artemis Marti Ceschin, pela doação do material para estudo, pela sua disponibilidade, mesmo que de última hora, pela confiança no meu trabalho, por ser uma pessoa incrível, além de profissionalmente exemplar.

A todos os professores do PPG-CIMA que sempre me apoiaram em minhas decisões.

Aos meus amigos e familiares que não estão citados acima.

Ao professor Alécio Júnior Mattana, pelo comprometimento e auxílio com os ensaios que foram feitos.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Goiás Campus Formosa, pela utilização de seus equipamentos para obtenção dos resultados, em especial ao técnico Milton, que mesmo fora do horário de trabalho se disponibilizou para ajudar nos ensaios.

E por fim, CAPES e FAP-DF, que possibilitaram a realização do trabalho através de fomentos.

RESUMO

A Turfa é um material orgânico encontrado em regiões próximas aos mangues, sendo utilizada em adubações de solos e recuperação ambiental de áreas mineradas. Na época do Império Romano, os arquitetos utilizavam pedaços de tijolo ou turfa em suas argamassas. Atualmente há uma preocupação com os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil, pois o processo de calcinação é responsável por uma grande quantidade de CO₂ liberada. Com isso, há necessidade de se fazer estudos tanto na diminuição da produção de cimento, para conseqüentemente diminuir a liberação de CO₂ na atmosfera, quanto na utilização de novos materiais que possam contribuir com as propriedades mecânicas do cimento. Neste trabalho foi realizada uma análise da possibilidade de redução dos corpos de prova ensaiados para que o gasto de material fosse reduzido. Posteriormente, foi feita a análise da consistência da argamassa para determinar a relação água/materiais secos que seriam utilizados no ensaio de resistência à compressão. Na tentativa de minimizar a quantidade de CO₂ liberado na atmosfera, esse trabalho tem como objetivo avaliar a resistência mecânica da argamassa feita com Cimento Portland (CP V) com adições de talco de turfa (0,5%, 1% e 2%) em relação à quantidade de cimento no traço, totalizando 3 grupos experimentais e 1 grupo controle (referência). Em todos os traços foram utilizados 5 corpos de prova, totalizando 60 corpos de prova que foram rompidos com 7, 28 e 91 dias. A resistência média nos casos analisados não ficou muito abaixo da resistência do corpo de prova referência. A adição que se observa mais promissora é a de 1% de talco de turfa e com isso se fez uma análise acerca da possibilidade de substituição do cimento pelo talco de turfa. Observou-se que, caso houvesse a substituição proposta, haveria uma redução de aproximadamente 280 mil toneladas de CO₂ liberadas a cada ano no Brasil.

Palavras-chave: Talco de turfa, resistência mecânica da argamassa, emissão de CO₂.

ABSTRACT

Peat is an organic material found in regions close to the mangroves, being used in soil fertilization and environmental recovery of mined areas. At the time of the Roman Empire, architects used pieces of brick or peat in their mortars. Currently, there is a concern with the environmental impacts caused by the construction industry, as the calcination process is responsible for a large amount of CO₂ released. Thus, there is a need to carry out studies both on the reduction of cement production, to consequently decrease the release of CO₂ in the atmosphere, and on the use of new materials that can contribute to the mechanical properties of cement. In this work, an analysis was made of the possibility of reducing the tested specimens so that the material expense was reduced. Subsequently, the mortar consistency was analyzed to determine the water / dry material ratio that would be used in the compressive strength test. In an attempt to minimize the amount of CO₂ released in the atmosphere, this work aims to evaluate the mechanical strength of the mortar made with Portland cement (CP V) with additions of peat talc (0.5%, 1% and 2%) in relation to the amount of cement in the mix, totaling 3 experimental groups and 1 control group (reference). In all strokes, 5 specimens were used, totaling 60 specimens that were broken at 7, 28 and 91 days. The average resistance in the analyzed cases was not much below the resistance of the reference specimen. The most promising addition was of 1% peat talc and an analysis was made of the possibility of replacing cement with peat talc. It was observed that in case of substitution, there would be a reduction of approximately 280 thousand tons of CO₂ released each year in Brazil.

Keywords: Peat talc, mechanical resistance of mortar, CO₂ emission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propriedades químicas da turfa.	15
Figura 2: Consumo e produção de cimento no Brasil – 2010 a 2019.....	20
Figura 3: Modelo representacional do processo de produção de cimento.....	22
Figura 4: Mesa de consistência.....	29
Figura 5: Misturador mecânico.	30
Figura 6: Cura dos corpos de prova em solução saturada de cal.	31
Figura 7: Retífica utilizada em substituição ao capeamento com enxofre.	34
Figura 8: Prensa hidráulica.	34
Figura 9: Corpos de prova com dimensões inferiores ao padrão.	35
Figura 10: Curva Tensão x Deformação aos 7 dias.	41
Figura 11: Curva Tensão x Deformação aos 28 dias.....	44
Figura 12: Curva Tensão x Deformação aos 91 dias.....	47
Figura 13: Análise do comportamento da resistência média através do tempo.....	50
Figura 14: Diferença na emissão de CO ₂ com a substituição utilizando talco de turfa.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formação dos compostos do cimento Portland.	18
Tabela 2: Consumo de cimento per capita no Brasil (2010-2019).	20
Tabela 3: Participação (%) do PIB da construção no PIB total do Brasil.	21
Tabela 4: Emissão de CO ₂ no Brasil desconsiderando a geração de energia no local.	23
Tabela 5: Emissão de CO ₂ por tonelada de cimento no Brasil, desconsiderando a geração de energia no local.	23
Tabela 6: Parâmetros físico-químicos da turfa.	24
Tabela 7: Características físicas e químicas da turfa litorânea.	25
Tabela 8: Porcentagem de talco de turfa utilizado.	27
Tabela 9: Quantidade de materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova.	28
Tabela 10: Dimensões dos corpos de prova para análise estatística.	28
Tabela 11: Quantidade de materiais utilizados no ensaio de consistência.	29
Tabela 12: Quantidade de materiais utilizados no ensaio de compressão.	30
Tabela 13: Dimensões dos corpos de prova dia 7.	31
Tabela 14: Dimensões dos corpos de prova dia 28.	32
Tabela 15: Dimensões dos corpos de prova dia 91.	33
Tabela 16: Resistência à compressão em 7 dias para comparação.	36
Tabela 17: Análise estatística de comparação.	36
Tabela 18: Índice de Consistência.	38
Tabela 19: Resistência à compressão com 7 dias.	41
Tabela 20: Análise da resistência à compressão com 7 dias.	42
Tabela 21: Resistência à compressão com 28 dias.	45
Tabela 22: Análise da resistência à compressão com 28 dias.	45
Tabela 23: Resistência à compressão com 91 dias.	48
Tabela 24: Análise da resistência à compressão com 91 dias.	49
Tabela 25: Análise do comportamento da resistência média através do tempo.	49
Tabela 26: Quantidade de CO ₂ que não seria emitida.	51

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Al_2O_3 – óxido de alumínio

As – coeficiente de assimetria

C_2S – silicato bicálcico

C_3A – aluminato tricálcico

C_3S – silicato tricálcico

C_4AF – ferroaluminato tetracálcico

CaCO_3 – carbonato de cálcio

CaO – óxido de cálcio

cm - centímetro

CO_2 – dióxido de carbono

CP I – Cimento Portland comum

CP II-E – Cimento Portland composto com escória

CP II-F – Cimento Portland composto com fíler

CP III – Cimento Portland de alto-forno

CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana

CP I-S – Cimento Portland comum com adição

CP IV – Cimento Portland pozolânico

CP V – Cimento Portland de alta resistência inicial

CV – coeficiente de variação

Fe_2O_3 – óxido de ferro

g - gramas

H_2O – água

kg - quilogramas

MgO – óxido de magnésio

mm - milímetro

MPa – Mega Pascal

NME – Nova Matriz Econômica

pH – potencial hidrogeniônico

PIB – Produto Interno Bruto

PVC – policloreto de vinila

SiO₂ – dióxido de silício

SO₃ – anidrido sulfúrico

t - tonelada

U.S.D.A – *United States Department of Agriculture and Agricultural Experiment Stations*

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	10
1. Introdução.....	14
2. Objetivos.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. Fundamentação teórica e revisão bibliográfica	17
3.1 Origem e definição do cimento Portland.....	17
3.2 Processo de fabricação do cimento	17
3.3 Constituição química do cimento	18
3.4 Tipos de cimentos.....	18
3.5 Resistência Mecânica do cimento	19
3.6 Cenário do cimento Portland no Brasil	20
3.7 Impactos ambientais causados pela produção de cimento	21
3.8 Características da turfa	24
3.9 Formação do talco de turfa.....	25
4. Materiais e métodos.....	26
4.1 Materiais.....	26
4.2 Métodos.....	26
4.3 Análise de mudança nas dimensões dos corpos de prova	27
4.4 Determinação do Índice de Consistência	28
4.5 Determinação da Resistência à Compressão	29
5. Resultados e discussão	35
5.1 Caracterização mecânica	35
5.1.1 Análise de mudança nos corpos de prova	35
5.1.2 Determinação do Índice de Consistência	38
5.1.3 Determinação da Resistência à Compressão	39
5.1.4 Análises futuras	50

6. Conclusões e Perspectivas	53
7. Referências	55

1. Introdução

O Cimento Portland é um produto constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio e com adições de substâncias que possam alterar as suas propriedades, modificando assim o tipo de emprego¹. O cimento tem propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, e endurece sob a ação de água, ganhando formas e volumes de acordo com a necessidade de cada tipo de obra. É composto de clínquer, que é produto da calcinação de calcário, e adições, sendo o primeiro o seu principal componente².

O cimento é classificado em diferentes tipos e definidos pelas composições que influenciam as propriedades finais. O cimento de alta resistência inicial, conhecido como CP V, tem uma alta reatividade em baixas idades em decorrência da proporção mais elevada de C₃S (silicato tricálcico) e sua maior finura¹. Já o cimento pozolânico, conhecido como CP IV, resulta na maior produtividade e em uma redução do custo de fabricação do cimento, pois há uma adição de material pozolânico, derivado de rochas de origem vulcânica rico em sílica não cristalina, ao clínquer. A utilização de pozolana acarreta em uma capacidade de reação e de combinação com o hidróxido de cálcio, formando assim compostos como os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, que são mais estáveis³.

Com isso, há uma busca por materiais que diminuam o gasto energético sem alterar as propriedades mecânicas do cimento, pois atualmente existe uma preocupação com os impactos ambientais na indústria da construção civil que vão desde a obtenção dos insumos até o método de aplicação que inclui a produção de resíduos pouco aproveitados⁴.

A argamassa produzida pelos romanos na época do Império era obtida de três formas diferentes, sendo a mais importante para o estudo em questão a *Opus Cementicium*, uma composição mais generalizada das argamassas utilizadas pelos arquitetos romanos, era formado por cal, misturada com areia e pozolana, ou pedaços de tijolo ou turfa⁵.

A turfa é um material orgânico encontrado em regiões próximas aos mangues, sendo utilizada em adubação de solos e em recuperação ambiental de áreas mineradas^{6,7}.

Atualmente, se conhece um estudo acerca da utilização da turfa em porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% adicionada à argamassa de cimento Portland CP II E. Nesse estudo, a autora observa que as resistências da maioria dos corpos de prova ensaiados foram menores que a referência (sem adição de turfa). O melhor resultado obtido foi com o valor de 5%⁸.

De acordo com a classificação U.S.D.A as turfas podem ser caracterizadas como fibrosas, hêmicas e sápricas, dependendo das suas características de fibras reconhecíveis, de acordo com a Figura 1⁶.

Sist. Classif.	Grau de Humificação		
U.S.D.A ⁽¹⁾	Fibrosa	Hêmica	Sáprica
Soviético ⁽²⁾	10, 20, 30	40, 50, 60	70, 80, 90, 100
Sueco ⁽³⁾	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9, 10
I.P.S. ⁽⁴⁾	Leve	Escura	Preta
Característica básica	> 2/3 fibras reconhecíveis	1/3 a 2/3 fibras reconhecíveis	< 1/3 fibras reconhecíveis

Teor em Fibras	←
M.E.A. ⁽⁵⁾	→
pH	→
PCS ⁽⁶⁾	→
Carbono Total	→
Porosidade	←
Permeabilidade	←
S. S. ⁽⁷⁾	→
Granulometria	←
Poder de sorção	→

Notas:

(1) U. S. Department of Agriculture and Agricultural Experiment Stations

(2) INSTORF (Instituto Soviético de Turfa)

(3) Von Post (Suécia)

(4) International Peat Society (I.P.S.)

(5) Massa Específica Aparente

(6) Poder Calorífico Superior

(7) Superfície Específica

Figura 1: Propriedades químicas da turfa⁶.

Pelas características observadas acima e pela utilização da turfa pelos romanos em suas argamassas, optou-se pela utilização do talco de turfa na produção de corpos de prova de argamassa a partir de cimento Portland CP V para a possível substituição do cimento por porcentagens de talco de turfa, visando a redução da produção de cimento e por consequência, a diminuição da produção de CO₂ das indústrias cimenteiras^{4,5,8}.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento de adição do talco de turfa em argamassa.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a possibilidade da utilização de corpos de prova com dimensões menores do que o recomendado por norma;
- Produzir corpos de prova com diferentes concentrações de talco de turfa;
- Realizar a caracterização mecânica como a compressão dos corpos de prova de acordo com a norma vigente;
- Analisar a influência do talco de turfa de acordo com os resultados obtidos com a caracterização mecânica;
- Analisar a possibilidade de substituição de porcentagens de cimento por talco de turfa, visando a diminuição da produção de CO₂.

3. Fundamentação teórica e revisão bibliográfica

3.1 Origem e definição do cimento Portland

Em 1824, Joseph Aspdin, um construtor da cidade de Leeds, inventa o Cimento Portland ao queimar calcário e argila a altas temperaturas. Desde a sua concepção, há uma grande mudança em métodos de produção e aplicação, pois em sua patente não foram definidas as proporções dos constituintes empregados em sua produção. Em 1845, Isaac Johnson afirmou ter queimado argila e calcário a uma temperatura suficiente, de aproximadamente 1450 °C, para a produção de clínquer^{9, 10, 11}.

De acordo com a norma vigente, o cimento Portland é um:

Ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos nesta norma¹².

Desde a sua patente a produção de cimento vem sofrendo alterações em seu processo de fabricação, bem como estudos para que se possam diminuir os gastos energéticos. Com isso a indústria cimenteira passa atualmente por uma padronização no seu processo produtivo, com a necessidade de desenvolvimento de métodos que se adaptem as necessidades ambientais⁴.

3.2 Processo de fabricação do cimento

Dentro deste processo, inicialmente acontece a extração das matérias-primas para a produção do cimento Portland. No segundo passo, ocorre a redução do tamanho das rochas que são extraídas utilizando o processo de britagem e uma pré-homogeneização. O terceiro passo é a moagem do cru em que a farinha (mistura crua) é colocada no moinho de bolas para reduzir a granulometria a cerca de 50 micrometros¹³.

Este material é passado pela torre de ciclone para um aquecimento gradativo, inicialmente com 400°C e ao fim 900°C. Posteriormente, o material que sai da torre é enviado ao forno rotativo, no qual há uma transformação química dos minerais naturais em minerais sintéticos, em um processo chamado de clinquerização¹³.

3.3 Constituição química do cimento

Os constituintes químicos do cimento são basicamente quatro óxidos: o óxido de cálcio, cal (CaO); o dióxido de silício, sílica (SiO₂); o óxido de alumínio, alumina (Al₂O₃); o óxido de ferro (Fe₂O₃). Tendo também pequenas proporções de óxido de magnésio (MgO) e anidrido sulfúrico (SO₃), com função de retardar o tempo de pega. Os quatro compostos principais que constituem geralmente de 95 a 96% do total de óxido presentes são abreviados, respectivamente, em C, S, A e F. Comumente utilizada devido ao processo de hidratação, a água (H₂O) é abreviada em H^{1, 14}.

A partir da combinação dos quatro óxidos principais, são originados quatro compostos, segundo a Tabela 1, sendo que as quantidades são determinadas pela composição de Bogue, em que são expressas as porcentagens desses compostos presentes na massa de cimento¹.

Tabela 1: Formação dos compostos do cimento Portland¹.

Nome do composto	Combinação química	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO · SiO ₂	C ₃ S
Silicato bicálcico	2CaO · SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO · Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO · Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

O C₃S é o maior responsável pela resistência em todas as idades, o segundo maior responsável pelo tempo de pega do cimento e o segundo composto com a maior liberação de calor. O C₂S tem uma maior importância em idades mais avançadas, sendo responsável pelo ganho de resistência com um ano ou mais. O C₃A contribui para resistência inicial para um dia, contribuiu para o calor de hidratação, especialmente no início do período de cura e é responsável pela rapidez da pega. O C₄AF possui grande importância no ataque por sulfatos no concreto¹.

3.4 Tipos de cimentos

Existem cinco tipos de cimentos Portland: comum, composto, alto forno, pozolânico e alta resistência inicial^{12, 15}.

No cimento comum observa-se que, caso tenha adições (CP I-S), deve ser composto por 90 a 94% de clínquer e sulfatos de cálcio e de 6 a 10% de material carbonático. Caso não tenha adições (CP I), deve ser composto de 95 a 100% por clínquer e sulfatos de cálcio, e de 0 a 5% podendo ser escória granulada de alto-forno, material pozolânico ou material carbonático^{12, 15}.

O cimento Portland composto é subdividido em três siglas: CP II-E, em que a quantidade de escória pode variar de 6 a 34%; CP II-Z, no qual a quantidade de pozolana varia de 6 a 14%; CP II-F, composto por um teor variando de 11 a 25% de material carbonático^{12, 15}.

O cimento Portland de alto forno CP III possui um teor de escória granulada de alto forno em um teor de 35 a 75%, por possuir óxido de cálcio, sílica e alumina no resíduo da fabricação de ferro gusa, a escória de alto forno, pois gera um menor consumo de energia na produção do cimento^{12, 15, 16}.

O cimento Portland pozolânico CP IV possui um teor de material pozolânico que varia de 15 a 50%, que ao ser fino e na presença de umidade, reage com a cal, formando compostos com propriedades cimentíceas^{12, 15, 16}.

O cimento Portland de alta resistência inicial possui um teor de 90 a 100% de clínquer e sulfatos de cálcio e um teor de 0 a 5% de material carbonático. Possui um endurecimento rápido e um desenvolvimento rápido de resistência mecânica. Este é comercialmente conhecido como CP V^{12, 15}.

3.5 Resistência Mecânica do cimento

Após a cura, o cimento deve atingir uma resistência mecânica mínima para suportar as cargas exigidas. O ensaio de resistência mecânica é um dos principais métodos para analisar este valor em concretos e pode ser utilizado em argamassas. Pois a argamassa pode ser considerada como um micro concreto. Essa resistência mostra a força por unidade de área que o corpo de prova suporta até a ruptura¹³.

Além do ensaio citado, há diversos esforços para serem determinados nos corpos de prova, como exemplo compressão e tração por compressão diametral¹⁷. Entretanto, o foco

deste trabalho será no cálculo da resistência à compressão, utilizando uma prensa hidráulica, dos corpos de prova produzidos.

3.6 Cenário do cimento Portland no Brasil

A padronização atual na produção de cimento Portland se faz necessária pela alta escala de produção. O consumo per capita no Brasil pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Consumo de cimento per capita no Brasil (2010-2019)^{18, 19, 20, 21}.

Ano (2010-2019)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Consumo aproximado (kg/pessoa)	315	338	358	353	359	320	280	259	254	219

Mesmo com um decréscimo no consumo per capita nos últimos 5 anos, a sua produção ainda continua em alta escala, como mostra a Figura 2.

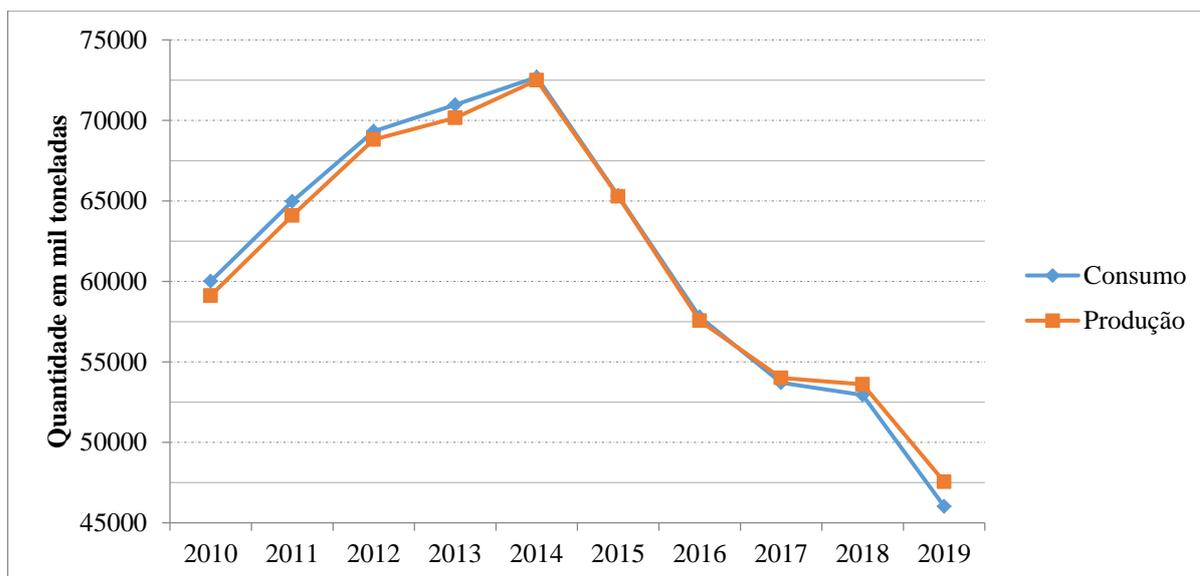


Figura 2: Consumo e produção de cimento no Brasil – 2010 a 2019^{18, 19}.

Até o ano de 2014 se vê um consumo crescente, entretanto, a partir de 2015 há uma diminuição no consumo, visto que a economia brasileira passou por recessão a partir do

segundo trimestre de 2014, explicadas de acordo com a Nova Matriz Econômica (NME) que reduz a produtividade da economia brasileira^{22, 23}.

A porcentagem da participação da construção civil vem decaindo a partir de 2013 com quedas maiores nos anos seguintes conforme mostrado na Tabela 3²⁴.

Tabela 3: Participação (%) do PIB da construção no PIB total do Brasil²⁴.

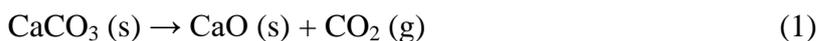
Especificação (2000 / 2005 / 2010-2019)	00	05	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Construção	7,0	4,6	6,3	6,3	6,5	6,4	6,2	5,7	5,1	4,3	3,9	3,7

Tendo em vista o exposto, o Brasil tem uma grande contribuição na produção de cimento, logo se faz necessário o levantamento acerca dos impactos ambientais relacionados à atividade cimenteira no Brasil.

3.7 Impactos ambientais causados pela produção de cimento

A indústria de produção de cimento é responsável por uma grande parte das emissões de CO₂ no planeta, sendo que dados da década de 1990 mostram que a produção de cimento é responsável por 5% das emissões globais de CO₂ realizadas pelo ser humano²⁵.

O cimento Portland com a presença de 90% ou mais de clínquer, possui um processo de produção ao qual necessita de altas temperaturas, o que gera uma emissão média de 842 kg CO₂/t de clínquer. Sendo que aproximadamente 60% dessa emissão é resultante da decomposição química do calcário e o restante provém da queima de combustíveis fósseis, a Equação 1 descreve este processo²⁶.



Com o aumento do consumo há também o aumento da emissão de gases do efeito estufa gerados na decomposição química do calcário e clinquerização, conforme Figura 3.

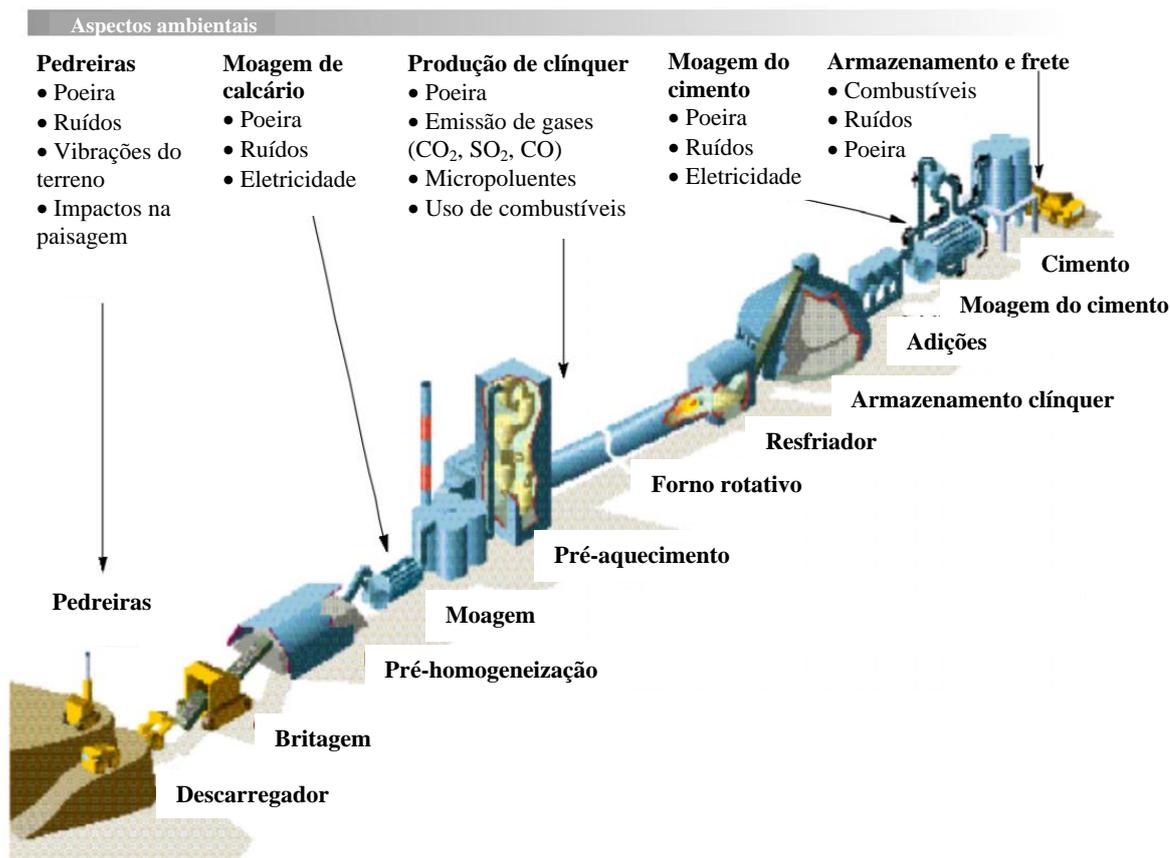


Figura 3: Modelo representacional do processo de produção de cimento²⁵.

É possível observar que a liberação de CO₂ na indústria cimentícia se concentra basicamente na torre ciclone e no forno rotativo. Portanto, observa-se que na literatura existem estudos que visam a diminuição da emissão de CO₂ nessa etapa descrita anteriormente²⁵.

A utilização do calcário afeta diretamente a liberação de CO₂ na indústria cimentícia, conforme Equação 1. Aproximadamente, para a produção de 1 t de cimento, é necessária a utilização de 1,4 t de rochas calcílicas²⁷. Sendo assim, a produção de CO₂ utilizando a quantidade de rocha calcílica citada é de 616 kg. A Tabela 4 mostra a quantidade de CO₂ produzida na indústria cimenteira do Brasil durante os anos de 2010 a 2017.

Tabela 4: Emissão de CO₂ no Brasil desconsiderando a geração de energia no local²⁸.

Ano	Emissão de CO ₂
2010	27.128.671 t
2011	28.667.486 t
2012	29.896.108 t
2013	31.618.393 t
2014	30.508.043 t
2015	27.041.538 t
2016	23.544.085 t
2017	22.404.674 t

Conforme Tabela 4 pode-se notar que a emissão de CO₂ no Brasil, mesmo após a diminuição na produção de cimento em 2015, ainda está em um valor alto. A Tabela 5 mostra a razão da emissão de CO₂ em comparação com a produção de cimento no Brasil.

Tabela 5: Emissão de CO₂ por tonelada de cimento no Brasil, desconsiderando a geração de energia no local²⁸.

Ano	Emissão de CO ₂
2012	574 kg
2013	582 kg
2014	572 kg
2015	580 kg
2016	603 kg
2017	614 kg

Nota-se que após o ano de 2014 houve um aumento na emissão de CO₂, por quilograma fabricado. Diante desse aumento é necessário o incremento de políticas públicas que cobrem a diminuição da emissão de CO₂.

A Espanha, por exemplo, utiliza resíduos nas cimenteiras em substituição ao combustível fóssil e também buscam matérias primas descarbonatadas para a preparação da farinha²⁹. Outra medida adotada é a minimização do consumo de energia térmica utilizando técnicas que aperfeiçoam, estabilizam o processo e realizam a substituição dos fornos rotativos³⁰. É relatado na literatura que a emissão de CO₂ por tonelada de clínquer na Espanha no ano de 2014 era de 828 kg, já no Brasil, no mesmo ano, era de 847 kg^{31,28}.

Com uma medida de diminuição de emissão de CO₂ pode-se reduzir o consumo de cimento. Para isso, são propostos diversos materiais, na maioria deles resíduos de outras

indústrias, que não afetam de forma negativa as propriedades das argamassas ou concretos, como substituição ao aglomerante. Dessa forma, se faz necessário a inclusão de novos materiais nos produtos a base de cimento para a redução dos impactos ambientais relacionados à sua produção.

3.8 Características da turfa

A turfa é um material orgânico formado em ambientes úmidos com pouca oxigenação, nestas condições a taxa de acúmulo de material é mais rápida que a taxa de decomposição. É considerada como um material poroso e altamente polar. Apresenta coloração variável entre o marrom escuro e o preto. As aplicações das turfas são voltadas para a agricultura e jardinagem, por se tratarem de um solo orgânico e também podem ser utilizadas para tratamento de águas residuárias³².

Os parâmetros físicos da turfa são mostrados na Tabela 6, em que se pode observar que a porcentagem em massa de matéria orgânica equivale a 75,1% da turfa^{8,33}.

Tabela 6: Parâmetros físico-químicos da turfa³³.

Teste	Resultado
Grupos Carboxílicos (cmol/dm ³)	4,6
Hidrogênios Ionizáveis (cmol/dm ³)	13,86
Matéria Orgânica (% p/p)	75,1
pH	4,51
Teor de Umidade (% p/p)	35,0

Os parâmetros físico-químicos da turfa, conforme Tabela 7, mostram o mesmo resultado dos valores encontrados na turfa utilizada neste trabalho. Em ambos os resultados, o pH encontrado caracteriza o material como ácido, o que inibe a reação de hidratação do cimento^{8,34}.

Tabela 7: Características físicas e químicas da turfa litorânea³⁴.

Componente	Profundidade (cm)		
	20	50	70
Matéria orgânica (%, p/p)	76,4±0,2	65,7±0,2	6,8±0,1
pH	4,5±0,1	4,4±0,1	4,6±0,1
Hidrogênio trocável (cmol _c dm ⁻³)	14,1±0,1	2,0±0,1	9,0±0,1
Acidez total (cmol _c dm ⁻³)	173,0±0,9	178,0±1,0	171,0±1,
Grupos carboxílicos (cmol _c dm ⁻³)	4,5 ± 0,2	4,4 ± 0,1	4,6 ± 0,1

A turfa é utilizada em diversas áreas da indústria da construção civil ao redor do mundo. Por exemplo, na Alemanha a turfa tem sido usada como um material isolante em chalés de madeira e na Finlândia como uma substituição ao cascalho em fundações de estradas³⁵.

3.9 Formação do talco de turfa

Inicialmente a turfa passa por um processo de secagem durante 24 horas em estufa. Pelo método de catação, devem ser retirados os fragmentos de raízes provenientes da turfa. Com o auxílio de um moinho de bola, deve-se fazer a fragmentação do material e posteriormente passar pelo processo de peneiração com a peneira com poros de 420 micrometros³⁶.

4. Materiais e métodos

Neste tópico serão descritos os materiais utilizados e os métodos empregados para a obtenção dos resultados.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados nesse trabalho foram:

- 1) Cimento Portland: para a produção da argamassa utilizou-se o cimento Portland do fabricante Ciplan, do tipo CP V, por ser o mais disponível na região e pelo seu baixo custo;
- 2) Talco de Turfa: utilizado como adição, sendo a turfa fornecida pela empresa Florestal – AS, com origem em Santa Catarina no município Balneário Arroio do Silva;
- 3) Agregado miúdo: utilizou-se areia padrão, fornecida pelo Instituto Federal de Goiás Campus Formosa.

4.2 Métodos

Primeiramente, foi feita o ensaio de resistência mecânica na perspectiva de usar corpos de prova com tamanhos inferiores aos menores moldes padrão que são fornecidos, fazendo uma análise estatística descritiva.

Posteriormente foi feita a análise do índice de consistência para determinar a relação água/materiais secos adotados no ensaio de resistência à compressão de acordo com as normas vigentes.

O talco de turfa foi obtido do Laboratório de Dispositivos e Circuitos Integrados (LDCI) da Universidade de Brasília. Os parâmetros físico-químicos da turfa foram descritos na Tabela 6, e destaca-se que a quantidade de matéria orgânica (75%) e o pH (4,5) são os mais importantes para o estudo.

Foram moldados corpos de prova com adição do talco de turfa na quantidade de 0,5%, 1% e 2% mostrados na Tabela 8. Para este estudo não foi feita uma substituição do cimento pelo material utilizado. Foram medidas as resistências para todas as amostras.

Tabela 8: Porcentagem de talco de turfa utilizado.

Cimento Portland	Porcentagem de adição
Ciplan CP V	0%
	0,5%
	1%
	2%

Finalmente, foi realizada uma análise estatística descritiva dos resultados obtidos. Foram calculados média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e coeficiente de assimetria.

4.3 Análise de mudança nas dimensões dos corpos de prova

Para analisar a possibilidade de uso de corpos de prova menores que o padrão, de 100mmx50mm, foram fabricados moldes de dimensões 68mmx34mm e 54mmx27mm com a utilização de tubos de PVC e abraçadeiras. Buscou-se reduzir as dimensões para que o gasto com materiais fosse menor.

Para o preparo da argamassa, o material sólido foi colocado na cuba do misturador e ao acionar a velocidade baixa, adicionou-se 75% da água com o auxílio de proveta nos dez segundos iniciais e misturou-se até completar o tempo de 30 segundos. Após, mudou-se para a velocidade alta e misturou-se por mais 60 segundos, foi realizada a raspagem da superfície interna da cuba e da pá até completar 90 segundos. Para finalizar, foi acionado o misturador na velocidade baixa colocando o restante da água durante 30 segundos¹².

O processo de moldagem dos corpos de provas seguiu a norma Determinação da Resistência à Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos³⁷. A Tabela 9 mostra quanto foi utilizado de cada material para a realização dos ensaios.

Tabela 9: Quantidade de materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova.

Traço	Areia (g)	Cimento (g)	Água (g)	Total (g)
1:4	2666,4	666,6	666,6	3999,6
1:3	2500	833	666,6	3999,6
1:2	2222	1111	666,6	3999,6

Para efeito de comparação foram feitos três corpos de prova para cada dimensão, em três traços diferentes, assim como para a dimensão padrão. Os corpos de prova foram denominados em Corpos 1, Corpos 2 e Corpos 3. A Tabela 10 mostra as dimensões após o processo de cura e após serem retificados.

Tabela 10: Dimensões dos corpos de prova para análise estatística.

Traço	Dimensões (cm)									
	Ideal	Corpos 1			Corpos 2			Corpos 3		
1:4	10x5	9,8	X	4,9	9,8	x	4,9	9,6	X	4,9
	6,8x3,4	7,2	X	3,4	7,1	x	3,4	7	X	3,4
	5,4x2,7	5,2	X	2,7	5,2	x	2,7	5,2	X	2,7
1:3	10x5	9,7	X	4,9	9,7	x	4,9	9,7	X	4,9
	6,8x3,4	7	X	3,4	6,9	x	3,4	6,8	X	3,4
	5,4x2,7	5,2	X	2,7	5,2	x	2,7	5,2	X	2,7
1:2	10x5	9,7	X	5	9,7	x	5	9,7	X	5
	6,8x3,4	6,9	X	3,4	7,1	x	3,4	7	X	3,4
	5,4x2,7	5,2	x	2,7	5,2	x	2,7	5,1	X	2,7

Nos corpos de prova padrão e no 5,4x2,7 houve uma redução na altura resultante do processo de retificação. Já nos corpos de prova 6,8x3,4, os moldes foram feitos com alturas superiores ao desejado para que não ocorresse o mesmo após passar pela retífica. Após serem retificados, os corpos foram submetidos ao ensaio de compressão para análise da resistência.

4.4 Determinação do Índice de Consistência

O ensaio conhecido como *Flow Table* foi feito, de acordo com a norma Determinação do Índice de Consistência, com 20% e 16% de água em relação aos materiais secos para obter o melhor traço em relação à plasticidade e coesão, conforme mostrado na Tabela 11³⁸.

Tabela 11: Quantidade de materiais utilizados no ensaio de consistência.

Traço	% de água	Areia (g)	Cimento (g)	Água (g)	Turfa (g)	Total (g)
1:3	20	1500	500	400,0	0	2400,0
1:3 + 2% turfa		1500	500	402,0	10	2412,0
1:3	16	1500	500	320,0	0	2320,0
1:3 + 2% turfa		1500	500	321,6	10	2331,6

Para o ensaio, utilizou-se a mesa de consistência conforme Figura 4. A argamassa deve ser moldada em uma fôrma troncocônica, em cima da mesa, em três camadas de mesma altura e, com o auxílio do soquete, aplicar 15, 10 e 5 golpes, respectivamente. O abatimento do corpo de prova deve ser feito com a queda da mesa em um tempo de 30 segundos, sendo uma queda por segundo³⁸.



Figura 4: Mesa de consistência.

4.5 Determinação da Resistência à Compressão

Para realização do ensaio de resistência foram feitos 5 corpos de prova com cada teor de turfa, para rompimento conforme norma em 7, 28 e 91 dias, totalizando 60 corpos de

prova³⁷. As massas de areia, cimento, água e talco de turfa usadas para o preparo da argamassa são mostradas na Tabela 12.

Tabela 12: Quantidade de materiais utilizados no ensaio de compressão.

Traço	Areia (g)	Cimento (g)	Água (g)	Turfa (g)	Total (g)
1:3	2700	900	648	0	4248
1:3 + 2% turfa	2700	900	651,24	18	4269,24
1:3 + 1% turfa	2700	900	649,62	9	4258,62
1:3 + 0,5% turfa	2700	900	648,81	4,5	4253,31

Para o preparo da argamassa utilizou-se a argamassadeira conforme Figura 5.



Figura 5: Misturador mecânico.

Posteriormente, para a moldagem dos corpos de prova foi necessário a utilização de um desmoldante vegetal, optou-se pelo molde descrito em norma, 50mm de diâmetro e 100mm de altura.

A moldagem foi feita colocando a argamassa e utilizando um dispositivo mecânico de adensamento. Os corpos de prova ficaram 24 horas no molde e após esse período foram desmoldados e transferidos para um tanque com água saturada de cal, conforme Figura 6³⁷.



Figura 6: Cura dos corpos de prova em solução saturada de cal.

Os corpos de prova foram moldados em 2 dias diferentes pela falta de moldes. Na Tabela 13 é mostrada a relação da altura/diâmetro dos corpos de prova com 7 dias, após passarem pela retífica.

Observa-se que a altura não corresponde ao 100mm do molde padrão, mesmo assim a relação altura/diâmetro está muito próxima ou é igual a 2. O mesmo ocorre nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 13: Dimensões dos corpos de prova dia 7.

Data	Traço	Diâmetro (mm)		Altura (mm)	Relação altura/diâmetro
25/nov	1:3	50,11	x	97,76	2,0
		50,09	x	97,23	1,9
		49,74	x	97,3	2,0
		50,04	x	97,5	1,9
		50,07	x	96,7	1,9
	1:3 + 2% turfa	50,2	x	97,8	1,9
		49,91	x	98,13	2,0
		50,01	x	97,3	1,9
		50,38	x	98,48	2,0
		49,93	x	96,07	1,9

27/nov	1:3 + 1% turfa	49,84	x	97,48	2,0
		50,04	x	97,28	1,9
		50,05	x	98,12	2,0
		49,86	x	98,14	2,0
		49,81	x	97,5	2,0
	1:3 + 0,5% turfa	49,98	x	97,3	1,9
		50,03	x	97,25	1,9
		49,86	x	98,11	2,0
		50,05	x	97,05	1,9
		49,77	x	97,4	2,0

Na Tabela 14 pode-se observar os corpos de prova obtidos com 28 dias, após passarem na retífica. Observa-se que os valores dos diâmetros se mantiveram próximos de 50mm. Sendo que a variação em relação à média não foi superior a 0,2mm, o mesmo ocorre nas Tabelas 13 e 15.

Tabela 14: Dimensões dos corpos de prova dia 28.

Data	Traço	Diâmetro (mm)		Altura (mm)	Relação altura/diâmetro
16/dez	1:3	50,16	x	97,51	1,9
		49,59	x	97,7	2,0
		50,04	x	97,28	1,9
		50,11	x	97,24	1,9
		49,76	x	97,6	2,0
16/dez	1:3 + 2% turfa	50,12	x	98,6	2,0
		50,01	x	97,9	2,0
		50,05	x	97,84	2,0
		50,14	x	98,21	2,0
		50,14	x	97,24	1,9
18/dez	1:3 + 1% turfa	49,98	x	97,68	2,0
		50,16	x	97,3	1,9
		50,22	x	97,63	1,9
		50,11	x	97,22	1,9
	1:3 + 0,5% turfa	50,01	x	97,82	2,0
		50,08	x	97,89	2,0
		50,15	x	97,57	1,9
		50,26	x	97,52	1,9
		50,03	x	98,55	2,0
		50,08	x	97,21	1,9

Na Tabela 15 pode-se observar os corpos de prova obtidos com 91 dias, após passarem na retífica.

Tabela 15: Dimensões dos corpos de prova dia 91.

Data	Traço	Diâmetro (mm)		Altura (mm)	Relação altura/diâmetro
17/fev	1:3	50,3	x	97,89	1,9
		50,2	x	97,8	1,9
		50,22	x	97,8	1,9
		50,11	x	97,78	2,0
		50,25	x	97,26	1,9
17/fev	1:3 + 2% turfa	50,37	x	97,67	1,9
		50,25	x	97,67	1,9
		50,07	x	98,1	2,0
		50,04	x	98,15	2,0
		50,1	x	97,05	1,9
19/fev	1:3 + 1% turfa	50,28	x	98,02	1,9
		49,8	x	96,88	1,9
		50,2	x	98,22	2,0
	1:3 + 0,5% turfa	50,3	x	97,76	1,9
		50,08	x	98,02	2,0
		50,11	x	97,8	2,0
		50,24	x	97,05	1,9
		50,25	x	97,4	1,9
		50,14	x	97,42	1,9
50,08	x	97,29	1,9		

Vale elencar que a normatização diz que os corpos de prova devem passar pelo processo de capeamento com a utilização de enxofre³⁷. Esse processo serve para formar uma capa retilínea nos corpos de prova, pois durante o processo de cura o topo do corpo de prova se modifica como resultado da liberação de calor da reação de hidratação. Como o laboratório possui uma retífica e visando a diminuição da contaminação com enxofre decidiu-se por utilizar a retífica.

Nos dias previstos para a execução do ensaio os corpos de prova foram retirados do tanque e submetidos à retífica, para que ficassem com a base linear em seu rompimento. A utilização da retífica, conforme Figura 7, foi feita com o auxílio do técnico do laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Goiás Campus Formosa.



Figura 7: Retífica utilizada em substituição ao capeamento com enxofre.

O rompimento dos corpos de prova foi feito com o auxílio do técnico e utilizando uma prensa hidráulica da marca EMIC com capacidade de carga de 200kN mostrada na Figura 8.



Figura 8: Prensa hidráulica.

Ao realizar os rompimentos, os resultados foram obtidos através do computador do mesmo laboratório, sendo que o foco dos resultados é a análise do gráfico de tensão x deformação que serão mostrados posteriormente.

5. Resultados e discussão

5.1 Caracterização mecânica

5.1.1 Análise de mudança nos corpos de prova

Com o objetivo de utilizar menos material e, dessa forma, conseguir moldar mais corpos de prova em um período de tempo menor, realizou-se uma comparação do corpo de prova padrão 100mmx50mm com duas dimensões inferiores. Vale ressaltar que todas as etapas seguiram as normas vigentes³⁷. A Figura 9 mostra a comparação de tamanhos dos corpos de prova.

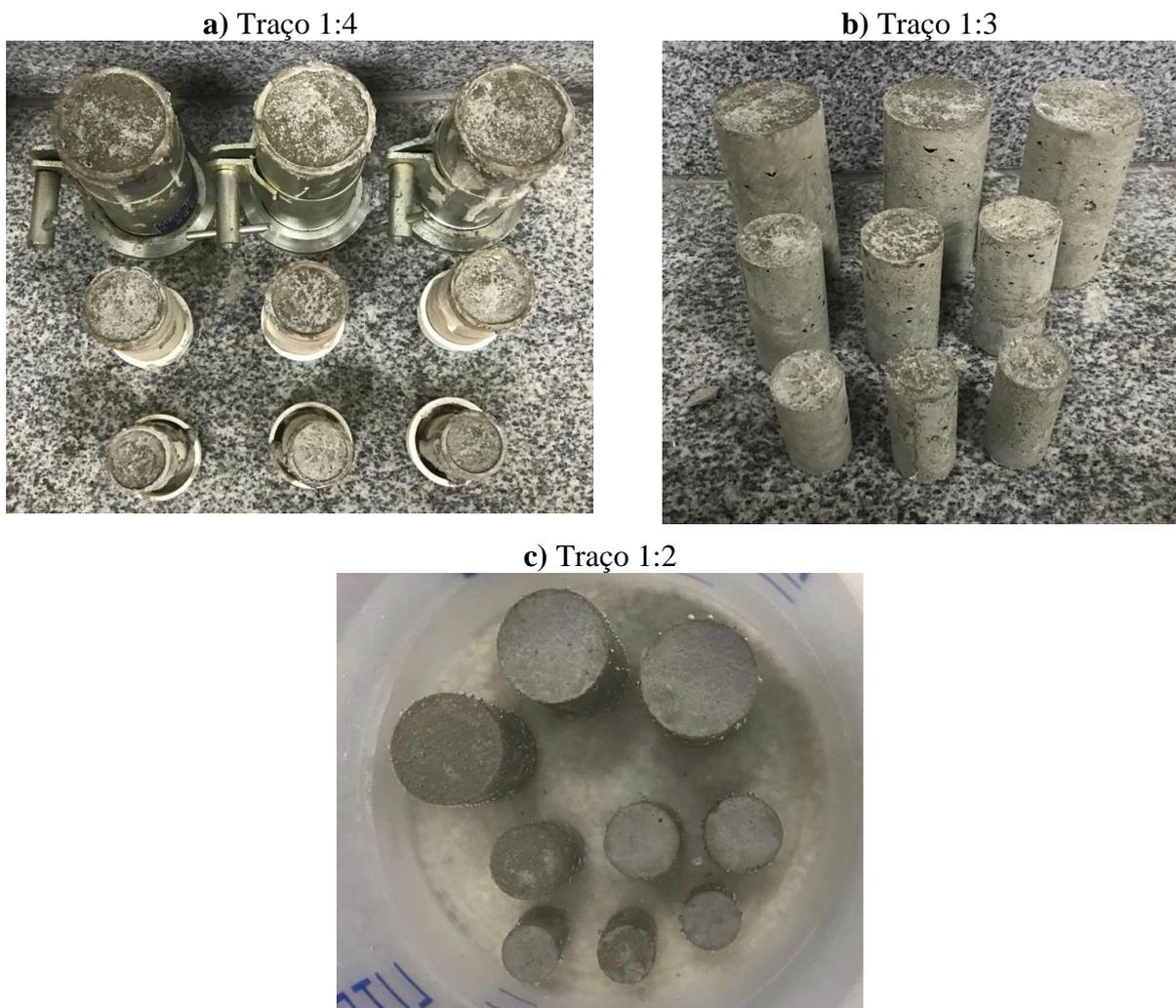


Figura 9: Corpos de prova com dimensões inferiores ao padrão.

Na Tabela 16 pode-se observar a resistência à compressão aos 7 dias.

Tabela 16: Resistência à compressão em 7 dias para comparação.

Traço	Dimensão (cm)	Resistência à compressão (MPa)		
1:4	10x5	6,26	6,1	6,69
	6,8x3,4	7,58	4,08	6,11
	5,4x2,7	4,35	4,36	4,24
1:3	10x5	12,35	8,14	12,13
	6,8x3,4	14,22	12,28	12,52
	5,4x2,7	10,77	11,44	9,33
1:2	10x5	25,14	24,46	25,58
	6,8x3,4	23,73	24,03	25,34
	5,4x2,7	23,01	28,18	18,21

Pode-se observar que no traço 1:2 que as resistências dos corpos de prova são significativamente maiores, sendo que esse traço é considerado rico, pois há uma maior utilização de cimento ao se comparar com a quantidade total de materiais secos utilizados. Entretanto, apenas os valores de resistência máxima não são suficientes para comprovar se a utilização dos corpos de prova com dimensões reduzidas produzem resultados favoráveis. Dessa forma, foram analisados os resultados com o auxílio da estatística descritiva^{39, 40}.

A Tabela 17 mostra as análises estatísticas de comparação das resistências.

Tabela 17: Análise estatística de comparação.

Traço	Dimensão (cm)	Média (MPa)	Mediana (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Coef. de Assimetria
1:4	10x5	6,35	6,26	0,31	0,048	0,88
	6,8x3,4	5,92	6,11	1,76	0,297	-0,32
	5,4x2,7	4,32	4,35	0,07	0,015	-1,50
1:3	10x5	10,87	12,13	2,37	0,218	-1,59
	6,8x3,4	13,01	12,52	1,06	0,081	1,38
	5,4x2,7	10,51	10,77	1,08	0,103	-0,71
1:2	10x5	25,06	25,14	0,56	0,023	-0,43
	6,8x3,4	24,37	24,03	0,86	0,035	1,18
	5,4x2,7	23,13	23,01	4,99	0,216	0,07

Primeiramente é feita a análise da média das resistências encontradas na Tabela 16. Pode-se observar que os valores ficaram próximos ao valor correspondente ao corpo de prova

padrão dentro de cada traço. Entretanto, ao ser feita a análise individual, observa-se uma discrepância significativa no traço 1:4 dimensão 6,8x3,4 e no traço 1:2 dimensão 5,4x2,7.

O desvio padrão é uma medida de dispersão relativa à média, ou seja, quanto menor o valor do desvio padrão, maior a homogeneidade dos dados. No traço 1:4 é possível observar que as resistências da dimensão 6,8x3,4 se dispersaram mais que as outras dimensões^{39, 40}.

No traço 1:3 o corpo de prova padrão apresentou um desvio maior que as dimensões inferiores, tal resultado é explicado por um erro durante a realização do ensaio de compressão. Um corpo de prova recebeu um esforço não calculado antes do início do ensaio, dessa forma, o mesmo rompeu antes do previsto.

No traço 1:2 o valor de desvio padrão da menor dimensão é o mais alto encontrado em todo o ensaio. Com os resultados do desvio padrão, desconsiderando o erro, o corpo de prova padrão possui menor dispersão de suas resistências.

O coeficiente de variação (CV) possibilita que sejam feitas comparações de distribuições diferentes, o que é uma vantagem quando comparado com o desvio padrão, e ainda diminui o efeito da magnitude dos dados. Para se ter uma baixa dispersão da média é preciso que o CV seja menor que 0,15 ou 15%. Para se obter o CV basta dividir o desvio padrão pela média^{39, 40}.

No traço 1:4 dimensão 6,8x3,4 é possível observar mais uma desvantagem, o CV deu mais de 29%, assim como no traço 1:2 menor dimensão que o valor chega a 21%. Devido ao erro já descrito, o corpo de prova padrão do traço 1:3 apresenta um CV acima do aceitável. Já todos os outros resultados se apresentam menores que 11%, ou seja, apresentam uma baixa dispersão.

O coeficiente de assimetria (As) é outra medida de comparação de distribuições, onde $As=3*(Média-Mediana)/Desvio\ Padrão$. O valor pode variar entre -3 e 3 e mostra o grau de desvio ou de simetria da distribuição, sendo caracterizado como assimetria elevada quando $|As|>1$, assimetria moderada quando $0,15<|As|<1$ e assimetria pequena quando $|As|<0,15$ ^{39, 40}.

Observando os valores apresentados na Tabela 17 fica claro que as resistências obtidas apresentam grande dispersão. Esse resultado pode ser devido à quantidade de corpos de prova moldados para os ensaios.

Um obstáculo encontrado quanto ao tamanho dos corpos de prova foi a utilização da retífica, pois a mesma segue os padrões para os corpos de prova normatizados. Para essa etapa foi feita uma adaptação, colocando algumas chapas metálicas para que a lâmina de corte conseguisse alcançar os corpos de prova.

Logo, erros podem ser causados também pela utilização incorreta do aparelho em questão. Destaca-se a necessidade de estudos mais aprofundados nessa área futuramente para que se obtenham resultados mais concisos. Sendo assim, para a continuidade do trabalho, optou-se por utilizar os corpos de prova normatizados.

5.1.2 Determinação do Índice de Consistência

A consistência da argamassa no ensaio de determinação do índice de consistência é importante para se caracterizar a trabalhabilidade do corpo de prova. Este índice é uma propriedade em que a argamassa deve resistir às deformações causadas pelo *Flow Table* no estado fresco. Para obtê-lo basta realizar a média aritmética de dois diâmetros ortogonais com o auxílio de um paquímetro^{41, 42}. A Tabela 18 mostra os resultados do ensaio *Flow Table*.

Tabela 18: Índice de Consistência.

Traço	% de água	Diâmetro (cm)		
		1	2	Média
1:3	20	31	37	34
1:3 + 2% turfa		32,5	34,5	33,5
1:3	16	23,8	23,4	23,6
1:3 + 2% turfa		22,2	21,6	21,9

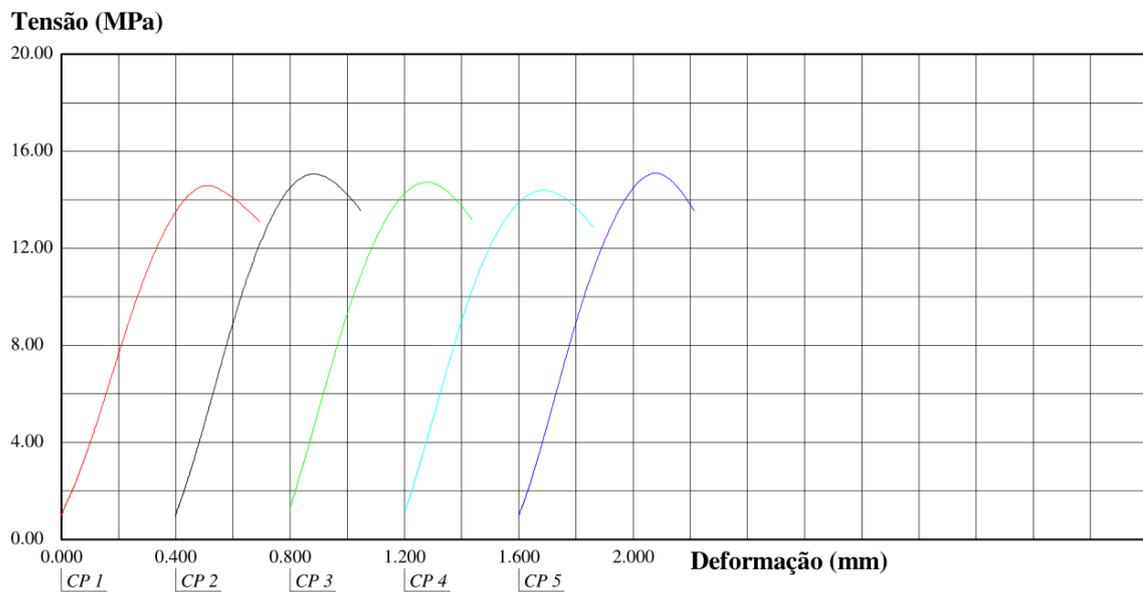
O ensaio foi feito com duas porcentagens de água para atingir o valor de índice de consistência indicado - de (255±10) mm – e com dois traços, um sem adição de turfa e outro com 2% de adição, para que a quantidade de água seja suficiente para obter uma argamassa com boa trabalhabilidade sem prejudicar a resistência da mesma^{41, 43}.

Com as porcentagens de água ensaiadas obtiveram-se índices acima e abaixo do esperado (26,5 a 27,5cm), dessa forma, escolheu-se 18% de água para o ensaio de resistência à compressão.

5.1.3 Determinação da Resistência à Compressão

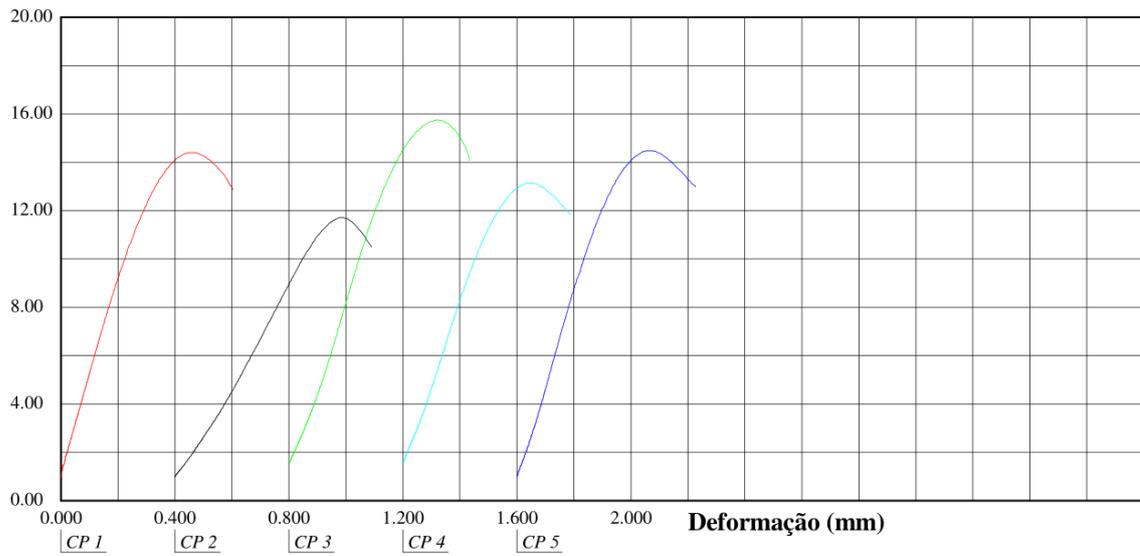
A análise da resistência mecânica se faz necessária pelo fato de se inserir um novo material o qual não se tem informações acerca da sua reação com um determinado tipo de cimento. Portanto é preciso observar se a resistência obtida com inserção do novo material teve alterações significativas.

A Figura 10 mostra as curvas de Tensão (MPa) x Deformação (mm) para os corpos de prova rompidos em 7 dias.



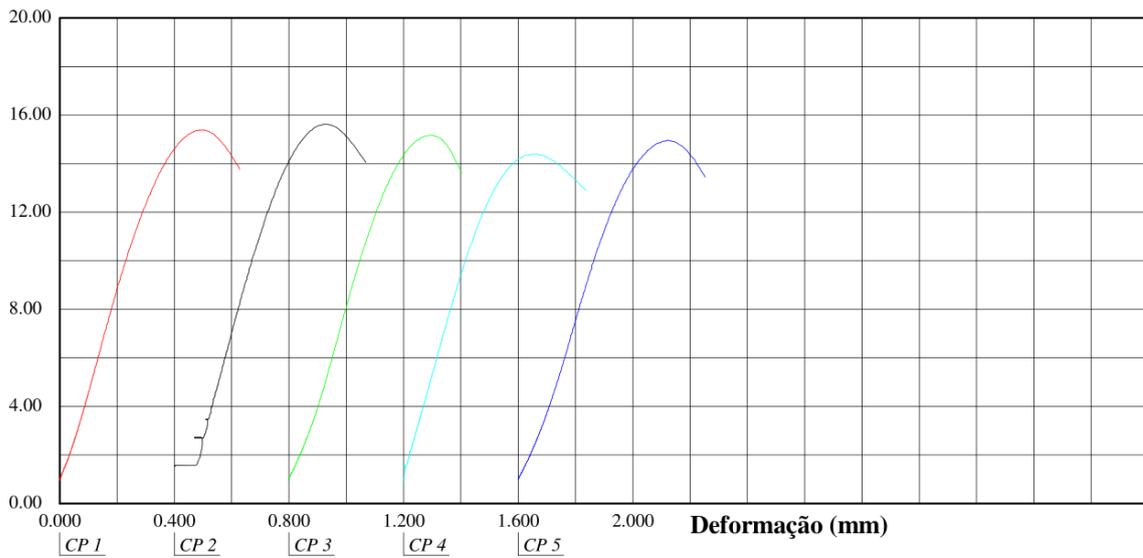
a) Corpos de prova sem adição de turfa.

Tensão (MPa)

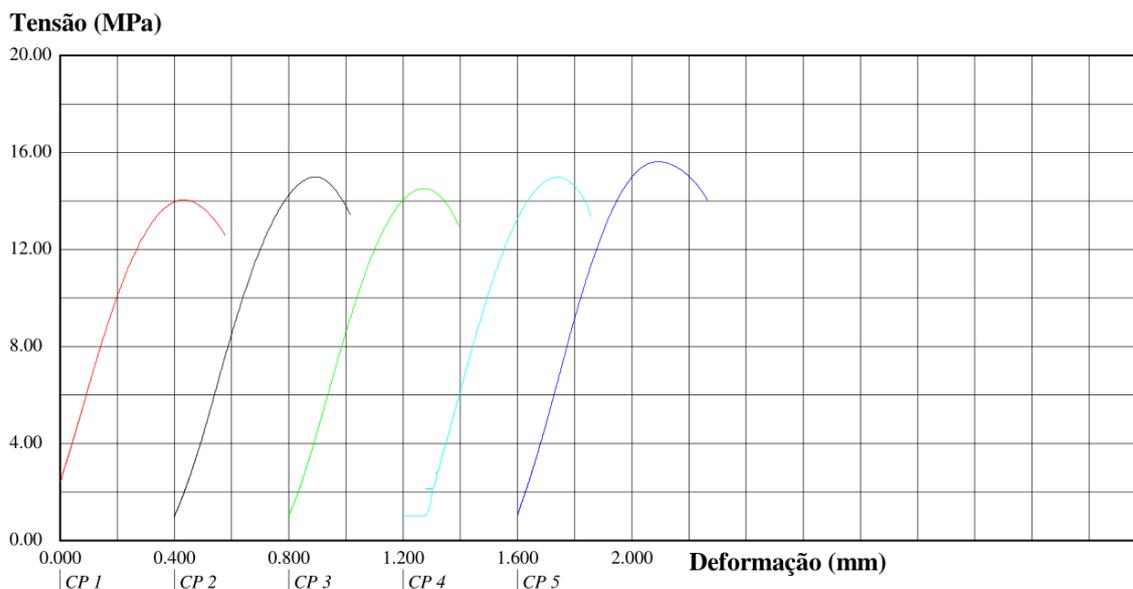


b) Corpos de prova com 2% de adição de turfa.

Tensão (MPa)



c) Corpos de prova com 1% de adição de turfa.



d) Corpos de prova com 0,5% de adição de turfa.

Figura 10: Curva Tensão x Deformação aos 7 dias.

Analisando as curvas acima dois pontos destacam-se, o primeiro é a homogeneidade das curvas das argamassas sem adição e com adição de 1% e 0,5% de turfa. O segundo é a grande diferença entre as curvas da Figura 10 b), da argamassa com 2% de adição de turfa. Uma hipótese para justificar esses resultados seria a quantidade de finos presentes em cada corpo de prova.

A Tabela 19 mostra as resistências máximas obtidas através das curvas acima.

Tabela 19: Resistência à compressão com 7 dias.

Data	Traço	Resistência à compressão (MPa)				
25/nov	1:3	14,61	15,07	14,74	14,40	15,11
	1:3 + 2% turfa	14,42	11,72	15,76	13,17	14,50
27/nov	1:3 + 1% turfa	15,41	15,63	15,18	14,41	14,96
	1:3 + 0,5% turfa	14,07	15,01	14,52	14,99	15,64

Os resultados de resistência máxima suportada pelas argamassas estão de acordo com o esperado, apesar de ser maior que o indicado pela normatização, deve-se lembrar que o cimento utilizado promove alta resistência inicial⁴⁴. A Tabela 20 mostra a análise estatística desses valores, entretanto, já é notável a variação de valores do traço com 2% de adição.

Tabela 20: Análise da resistência à compressão com 7 dias.

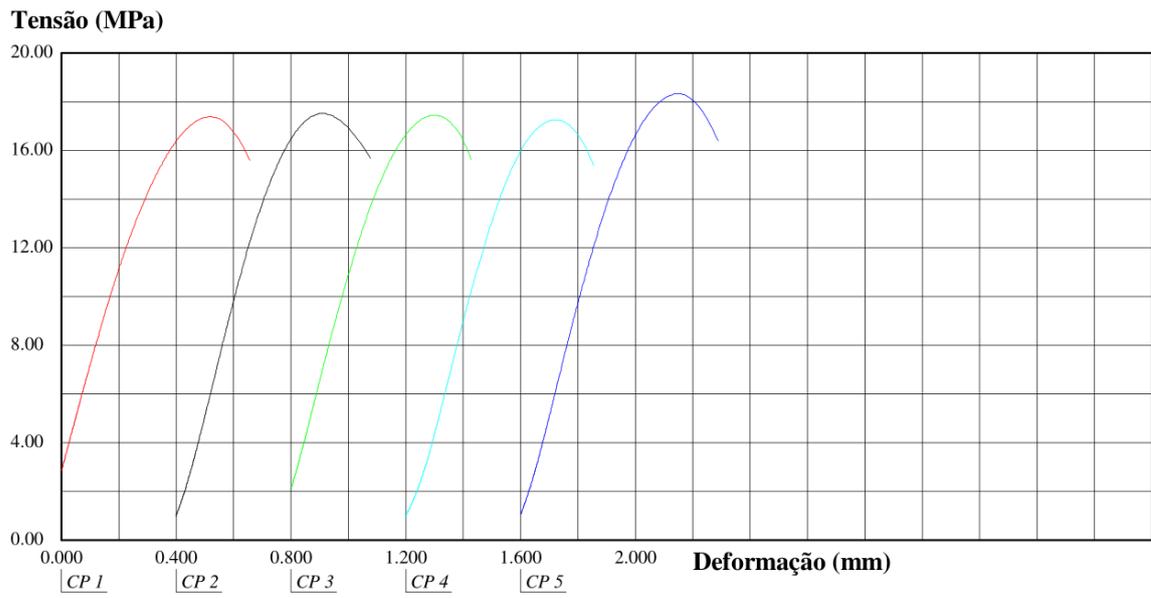
Traço	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Coef. De Assimetria
1:3	14,79	14,74	0,30	0,0205	0,46
1:3 + 2% turfa	13,91	14,42	1,53	0,1100	-0,99
1:3 + 1% turfa	15,12	15,18	0,47	0,0310	-0,40
1:3 + 0,5% turfa	14,85	14,99	0,59	0,0397	-0,73

Os valores médios das resistências obtidas são positivos, aos 7 dias apenas o traço com 2% de adição de turfa teve uma resistência média menor que o padrão de 14,79 MPa. A partir desses dados é possível observar que, mesmo com mais material fino presente nos corpos de prova, a adição de 1% e 0,5% de turfa aumentou, mesmo que em pequena escala, a resistência inicial da argamassa.

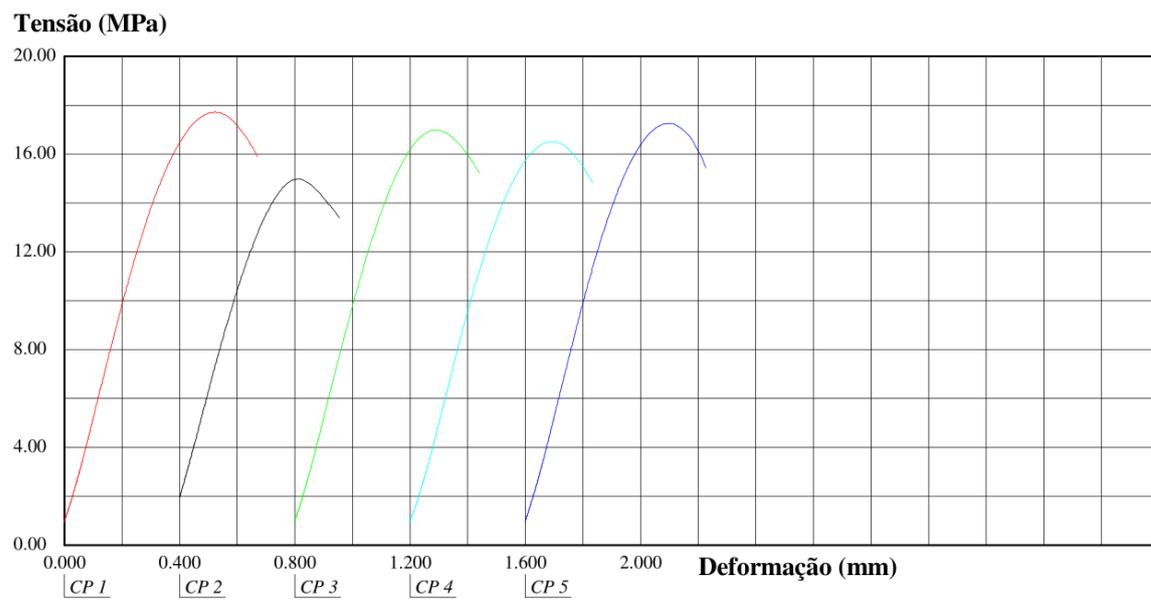
O cálculo de desvio padrão mostra que as adições de 1% e 0,5% não modificaram significativamente as propriedades da argamassa, resultando em uma distribuição de resistência menos dispersa, mais próxima da dispersão da argamassa padrão. Já o valor de 1,53 para a adição de 2% destaca que houve uma variação considerável nas resistências destes corpos de prova.

Os resultados dos coeficientes de variação mostram que houve uma baixa dispersão em relação à média em todos os traços. Entretanto, pelo coeficiente de assimetria obteve-se assimetria moderada em todos os traços, sendo que para a adição de 2% essa assimetria foi maior.

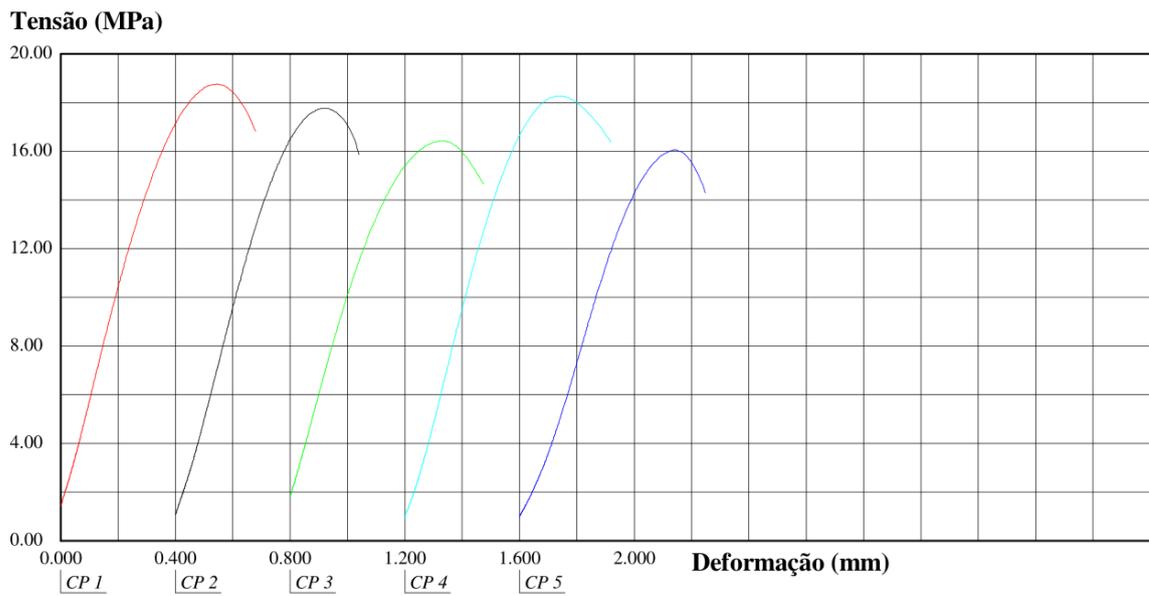
Após 28 dias do molde dos corpos de prova foi realizada mais uma etapa de ensaios de compressão. A Figura 11 mostra as curvas de Tensão (MPa) x Deformação (mm) obtidas.



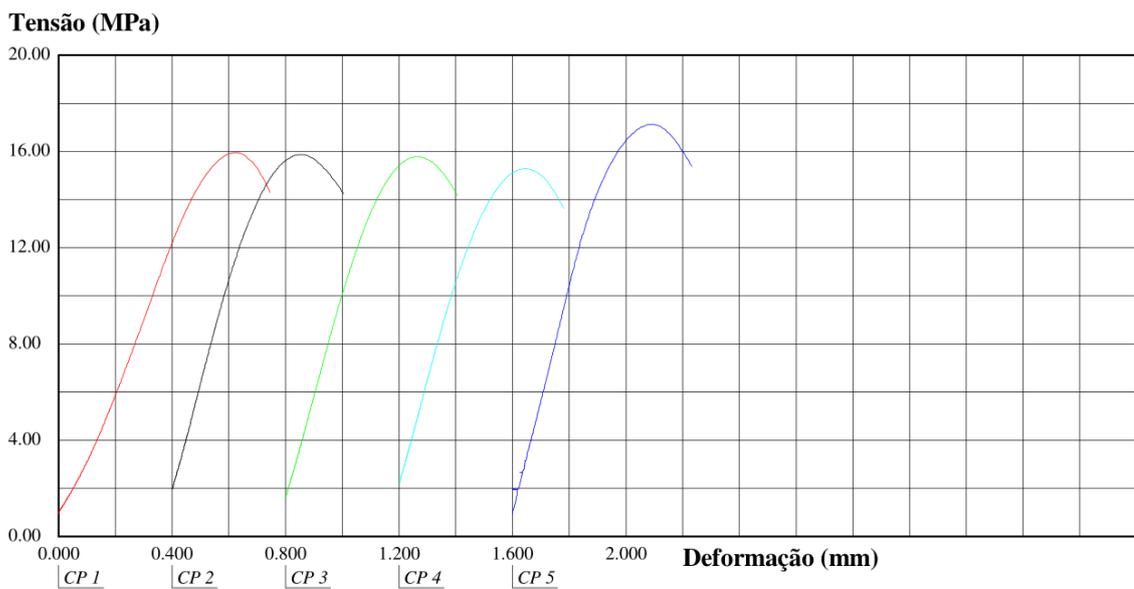
a) Corpos de prova sem adição de turfa.



b) Corpos de prova com 2% de adição de turfa.



c) Corpos de prova com 1% de adição de turfa.



d) Corpos de prova com 0,5% de adição de turfa.

Figura 11: Curva Tensão x Deformação aos 28 dias.

A curva dos corpos de prova sem adição nos traz resultados homogêneos, como esperado. Já nas argamassas com adições, é possível notar pequenas diferenças. Nas adições de 2% e 1% as resistências máximas variaram significativamente.

A Figura 11.d mostra que a adição de 0,5% influenciou menos na variação dos resultados, mesmo que um corpo de prova tenha resistido mais, a maioria se manteve em 15 MPa. A Tabela 21 mostra as resistências máximas obtidas através das curvas acima.

Tabela 21: Resistência à compressão com 28 dias.

Data	Traço	Resistência à compressão (MPa)				
16/dez	1:3	17,39	17,53	17,46	17,27	18,34
	1:3 + 2% turfa	17,74	14,99	17,00	16,53	17,27
18/dez	1:3 + 1% turfa	18,77	17,78	16,44	18,29	16,06
	1:3 + 0,5% turfa	15,97	15,89	15,80	15,30	17,14

Como dito anteriormente, observa-se que a argamassa com adição de 2% obteve 2,75 MPa de diferença entre as duas primeiras curvas e, na adição de 1% a diferença é de 2,71 entre o corpo de prova que mais resistiu e o que menos resistiu.

A Tabela 22 mostra a análise estatística feita a partir das resistências obtidas.

Tabela 22: Análise da resistência à compressão com 28 dias.

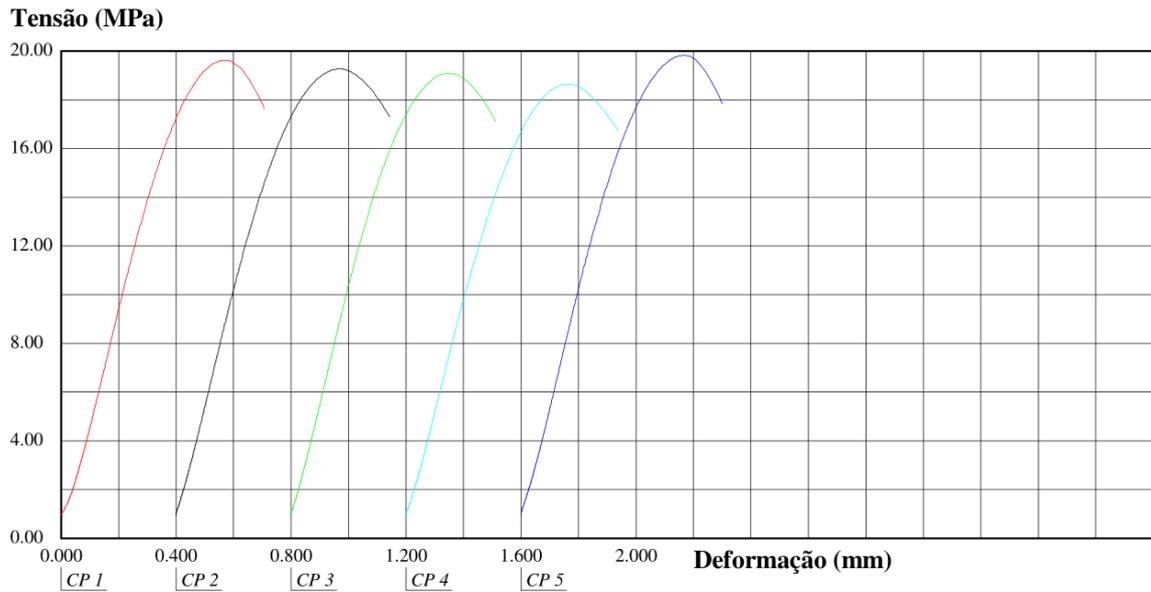
Traço	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Coef. De Assimetria
1:3	17,60	17,46	0,43	0,0242	0,97
1:3 + 2%	16,71	17,00	1,05	0,0631	-0,84
1:3 + 1%	17,47	17,78	1,17	0,0672	-0,80
1:3 + 0,5%	16,02	15,89	0,68	0,0423	0,57

Diferentemente dos resultados com 7 dias, a média dos traços com adições, após um mês da moldagem dos corpos de prova, diminuiu em relação à argamassa sem adição. Mesmo assim, os valores são positivos, dado que o traço com 1% de adição teve média com apenas 0,13 MPa abaixo, o que significa uma redução de 0,8% no valor de resistência para o melhor resultado e 5% de redução de resistência no pior resultado.

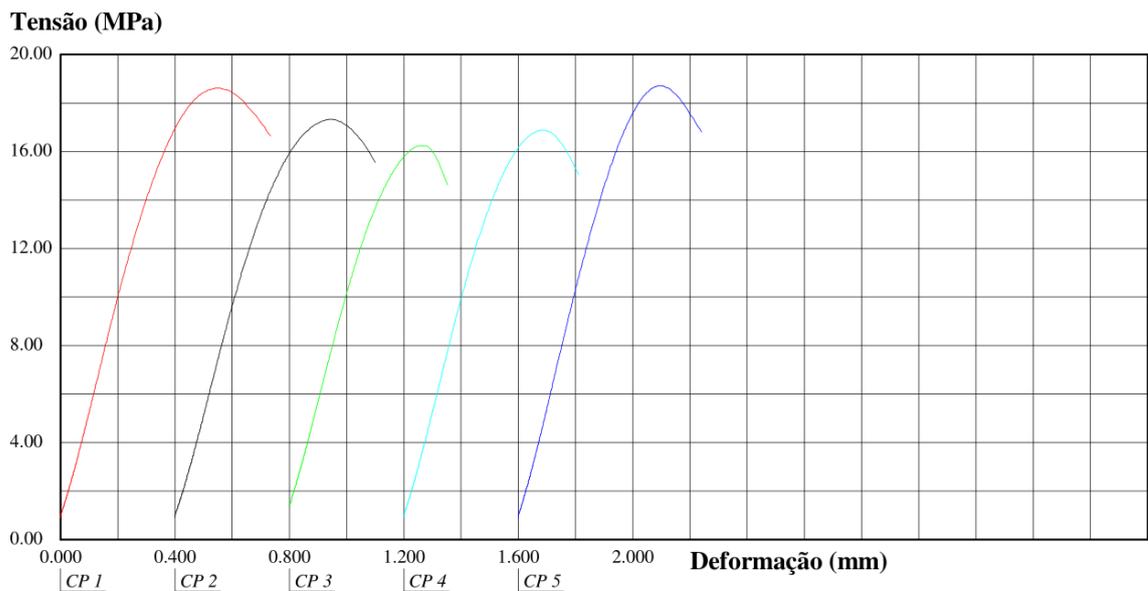
O desvio padrão calculado reforça a interpretação da Figura 11, os corpos de prova das adições de 2% e 1% tiveram variações significativas em suas resistências. Apesar do coeficiente de variação ser baixo, os coeficientes de assimetria também destacam essa dispersão.

A argamassa com 0,5% de adição de turfa apresentou o menor valor de resistência aos 28 dias, mas os seus corpos de prova apresentaram uma maior manutenção das propriedades ao se analisar os dados da estatística descritiva.

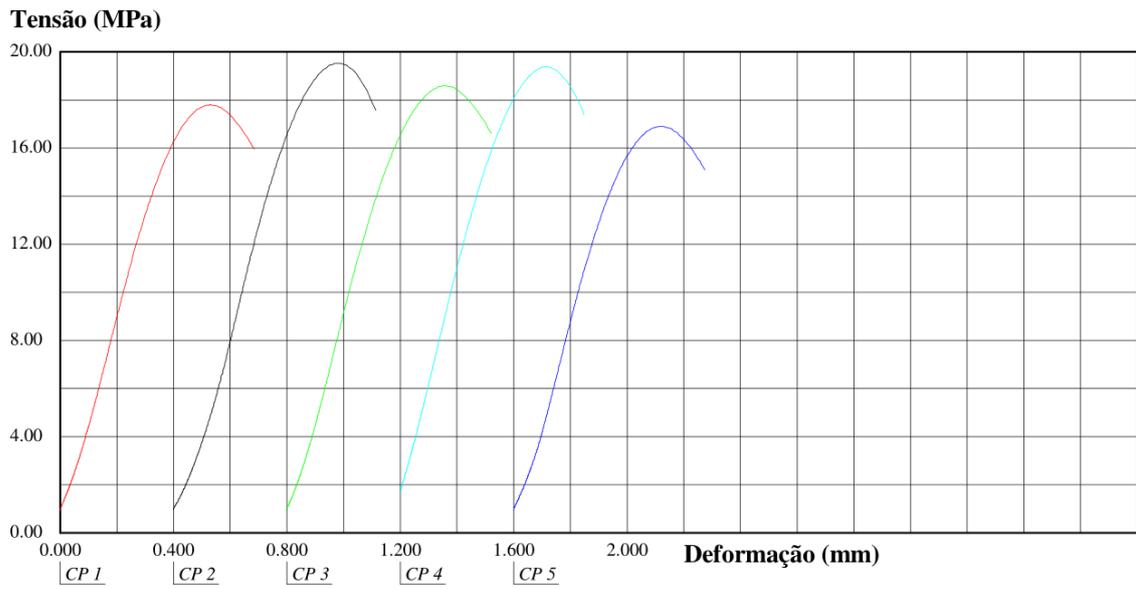
Apesar do rompimento aos 28 dias ser o mais comum nas construções e do cimento promover alta resistência inicial, realizar o ensaio aos 91 dias, como prescreve a norma, é essencial para que a análise da adição de turfa seja completa. Pois, por ser um material orgânico e fino, o talco de turfa pode alterar as propriedades mecânicas da argamassa em idades avançadas e os resultados iniciais podem ser devido apenas à característica do CP V. A Figura 12 mostra as curvas de Tensão (MPa) x Deformação (mm) para estes corpos de prova.



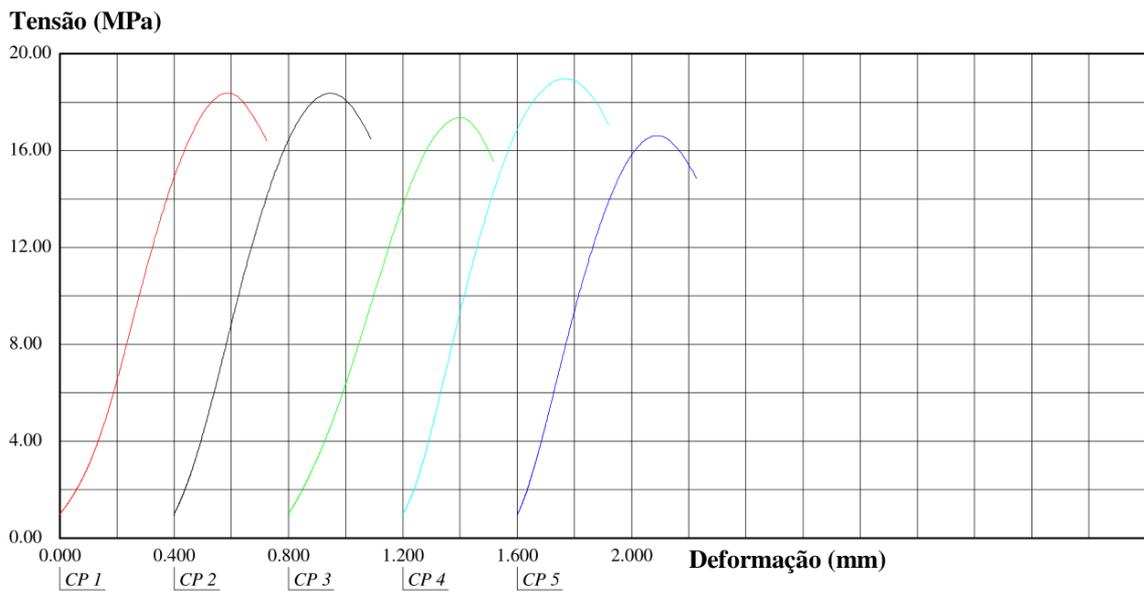
a) Corpos de prova sem adição de turfa.



b) Corpos de prova com 2% de adição de turfa.



c) Corpos de prova com 1% de adição de turfa.



d) Corpos de prova com 0,5% de adição de turfa.

Figura 12: Curva Tensão x Deformação aos 91 dias.

Observando as curvas é possível notar que houve grande variação nos valores de resistências máximas, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23: Resistência à compressão com 91 dias.

Data	Traço	Resistência à compressão (MPa)				
02/mar	1:3	19,64	19,28	19,11	18,66	19,85
	1:3 + 2% turfa	18,63	17,34	16,27	16,90	18,73
04/mar	1:3 + 1% turfa	17,82	19,54	18,60	19,39	16,92
	1:3 + 0,5% turfa	18,4	18,38	17,38	18,98	16,64

Os valores das resistências dos corpos de prova aumentaram se comparado aos valores de 28 dias, como era esperado, ou seja, a adição de turfa não prejudica essa propriedade ao longo prazo. Entretanto, as argamassas com adições apresentaram alguns valores muito abaixo das resistências dos corpos de prova sem adição. A Tabela 24 mostra essa diferença de maneira mais clara.

Tabela 24: Análise da resistência à compressão com 91 dias.

Traço	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Coef. De Assimetria
1:3	19,31	19,28	0,46	0,0241	0,18
1:3 + 2%	17,57	17,34	1,08	0,0614	0,65
1:3 + 1%	18,45	18,60	1,10	0,0596	-0,40
1:3 + 0,5%	17,96	18,38	0,93	0,0520	-1,36

Como observado anteriormente, o traço com 1% de adição apresentou os melhores resultados. Apesar de a média ser menor que o traço sem adição e de possuir uma variação considerável quando analisado o desvio padrão, o talco de turfa não prejudicou as propriedades mecânicas da argamassa.

Analisando os dados estatísticos e os comparando com os resultados obtidos aos 7 e 28 dias, nota-se que apesar das variações, as argamassas mantiveram um comportamento padrão ao longo de todos os ensaios.

A Tabela 25 nos resume os valores das médias obtidas pelas argamassas durante todas as idades.

Tabela 25: Análise do comportamento da resistência média através do tempo.

Traço	Média		
	7 dias	28 dias	91 dias
1:3	14,79	17,60	19,31
1:3 + 2% turfa	13,91	16,71	17,57
1:3 + 1% turfa	15,12	17,47	18,45
1:3 + 0,5% turfa	14,85	16,02	17,96

A adição de 2% modificou negativamente as propriedades da argamassa, tal fator pode ser resultado da quantidade de finos presente na mesma, uma maior quantidade de materiais finos faz com que os vazios entre as partículas sejam preenchidos e acarreta também em uma maior quantidade de água utilizada, pois a superfície de contato é aumentada de acordo com a diminuição da granulometria do material⁴⁵.

A adição de 0,5% e 1% mostram valores satisfatórios quanto ao uso do talco de turfa adicionado à argamassa.

A Figura 13 mostra a evolução das médias da resistência.

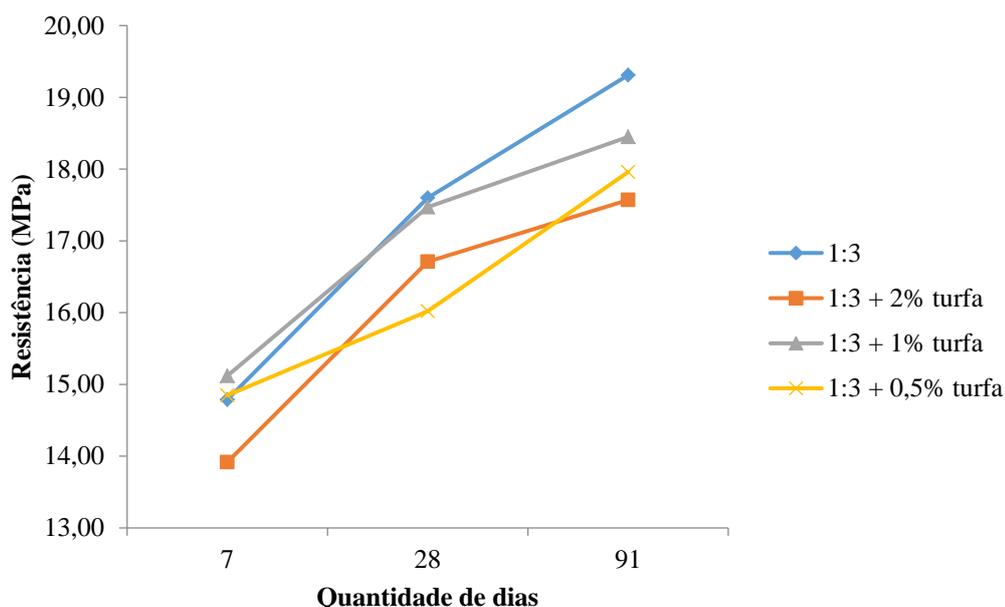


Figura 13: Análise do comportamento da resistência média através do tempo.

Ao observar a figura acima, pode-se concluir que a média do corpo de prova referência nas três idades tem um crescimento maior. Observa-se também um maior crescimento da resistência para a amostra de 0,5% com as idades mais avançadas. Assim seria necessário analisar a resistência com idades mais avançadas, por exemplo, com um ano após a produção para analisar se o crescimento ainda acontecerá na mesma proporção.

5.1.4 Prospecção de impacto ambiental

A substituição do cimento por uma quantidade do talco de turfa será realizada. Com essa substituição é necessário calcular a quantidade de CO_2 que deixaria de ser emitida. Serão realizadas substituições de 1%, 2% e 5% de talco de turfa.

Pode-se observar que há uma grande quantidade de produção de cimento no Brasil, que serve para a produção do concreto, da argamassa, entre outras, portanto esse estudo levanta a possibilidade de diminuição da produção de cimento, diminuindo assim a produção de clínquer, o qual possui fator importante na produção de CO_2 na indústria cimenteira.

Conforme citado, durante o processo de calcinação, o calcário é transformado em cal e dióxido de carbono. Ou seja, para a produção do clínquer, é necessário 1,4 t de calcário para

transformar-se em 1 t de cimento. Vale ressaltar que neste processo, a porcentagem de produção de CO₂ é de 44%.

Com isso pode-se observar na Figura 14 a projeção para diminuição das emissões de CO₂ caso o cimento fosse substituído pelo talco de turfa no valor de 1%.

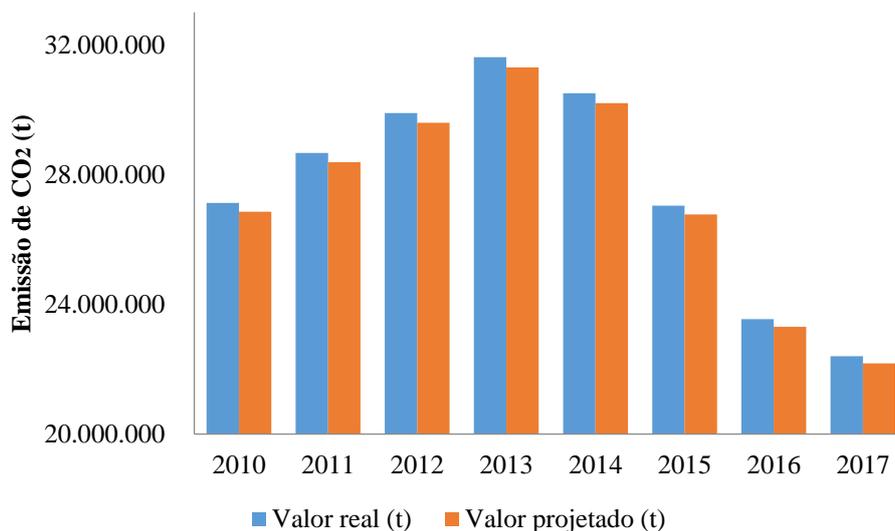


Figura 14: Projeção na emissão de CO₂ com a substituição utilizando talco de turfa²⁸.

As diferenças observadas na Figura 14 estão explicitadas na Tabela 26.

Tabela 26: Quantidade de CO₂ que não seria emitida²⁸.

Valor real (t)	Valor projetado (t)	Quantidade de CO ₂ não emitida (t)
27.128.671	26.857.384	271.287
28.667.486	28.380.811	286.675
29.896.108	29.597.147	298.961
31.618.393	31.302.209	316.184
30.508.043	30.202.963	305.080
27.041.538	26.771.122	270.415
23.544.085	23.308.644	235.441
22.404.674	22.180.628	224.047

A média da quantidade de CO₂ não emitida com a substituição de 1% de cimento poderá ser da ordem de 276.011,25 t em um ano. Aproximadamente 4 milhões de árvores do Florestas do Futuro sequestram 194.230 t de CO₂ por ano. Dessa forma, a redução na produção de cimento é equivalente a quase 6 milhões de árvores.

Por menor que seja a redução da produção de cimento no Brasil, há um impacto grande na redução de CO₂. Serão necessários mais estudos acerca da possível diminuição da produção de cimento.

6. Conclusões e Perspectivas

Iniciou-se o trabalho fazendo corpos de prova menores que o padrão, contudo, devido à configuração do apoio para molde da retífica não foi possível proceder aos ensaios com os corpos de prova menores.

Com o ensaio de consistência obteve-se os resultados de porcentagem de água para utilizar na produção dos corpos de prova que foram testados no ensaio de resistência mecânica. Os resultados mostraram que a porcentagem ideal de água para a argamassa seria de 18%. Portanto o ensaio de consistência se faz necessário para observar a trabalhabilidade da argamassa.

As adições de 0,5%, 1% e 2% se mostraram satisfatórias em relação ao corpo de prova padrão, não havendo muita discrepância nos valores obtidos. Houve um aumento na resistência em todos os casos ao se analisar os corpos de prova ao longo do tempo.

Observa-se que de 7 a 28 dias os corpos de prova com 2% de adição do talco de turfa obtiveram o maior aumento na resistência média ao se comparar com os valores de 0,5% e 1%. Com uma maior idade, de 28 para 91 dias, o corpo de prova de 2% teve o menor aumento, isso pode ser explicado pela quantidade de materiais finos a mais que estão inseridos na argamassa.

Os corpos de prova com adição de 0,5% do talco de turfa obtiveram um aumento significativo de 28 para 91 dias, com isso, deverá ser feita uma análise com essa adição para a idade de 1 ano. Com isso pode-se observar qual a adição se torna mais viável para utilizar na argamassa.

A análise da resistência permitiu mostrar que com a adição de 1% de talco de turfa na argamassa obtém-se um resultado mais promissor em comparação com as outras porcentagens, assim, em futuros trabalhos serão feitas as substituições do cimento pelo talco de turfa.

Esse estudo acerca da substituição parcial foi necessário, pois conforme explicitado, a indústria da construção civil é uma grande contribuinte quando se trata de emissões de CO₂. Portanto, a substituição visa à diminuição na produção de cimento e com isso, a redução da produção de CO₂ no processo de calcinação. Pois, com menos cimento sendo produzido, menor será a produção de clínquer.

Conforme visto, com essa diminuição da utilização de cimento, podemos analisar os impactos em relação à quantidade de árvores necessárias para fazerem o processo de sequestro de carbono. São necessários estudos com a possibilidade de uma substituição em maiores porcentagens do cimento, visando ainda mais a diminuição da produção de CO₂ na indústria cimenteira.

Sabe-se que a turfa possui um caráter ácido, podendo diminuir as propriedades mecânicas da argamassa. Faz-se necessário um estudo acerca de outras propriedades do cimento devido ao acréscimo do talco de turfa, pois a matéria orgânica absorve uma quantidade de água inicial.

Visando o trabalho de estudo de materiais devem-se fazer análises microscópicas e morfológicas do talco de turfa com o cimento.

7. Referências

1. BAUER, L. A. F. Materiais de Construção 1; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 5. ed., 2008.
2. ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia Básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. Disponível em:< <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>> Acesso em: Fevereiro/2020.
3. OLIVEIRA, M. P. et al. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL, 2004, Pirassununga, SP. Anais... Pirassununga: NOCMAT, 2004. Disponível em:< http://www.usp.br/constrambi/producao_arquivos/estudo_de_caulim.pdf> Acesso em: Fevereiro/2020.
4. LOUZEIRO, G. R. M. Avaliação do Ciclo de Vida do Cimento: análise do gasto energético do cimento LC³ em comparação aos cimentos Portland CP I e CP IV, Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018.
5. ALVAREZ, J. SEQUEIRA, C. COSTA, M. Ensinaamentos a Retirar ao Passado Histórico, 2005. Disponível em:< <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2051.pdf>>
6. FRANCHI, J. G. Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia. Dissertação de Mestrado, Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2000.
7. RIBEIRO, N. C. Uso da turfa como material alternativo na formação de componentes eletrônicos de baixo custo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2012.
8. OLIVEIRA, D. C. Avaliação da atividade pozolânica de turfa em cimento Portland. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas-MG, 2017.

9. KAEFER, L.F. A evolução do concreto armado. São Paulo, 1998.
10. BATTAGIM, A. F. Uma breve história do cimento Portland. 2009. Disponível em:< <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>> Acesso em: Março/2020.
11. VARELA, N. VIEIRA, F. S. Cimento: uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas. 2005. Disponível em:< <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2037.pdf>> Acesso em: Janeiro/2020.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro. 2018.
13. MORENO, F.A.C. Predição à resistência à compressão de um cimento industrial utilizando técnicas de redes neurais artificiais. 2001. 95f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
14. SENFF, L. FOLGUERAS, M. V. HOTZA, D. Hidratação do cimento CP V ARI - RS: influência da água nas reações ed hidratação. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro-SP, 2005. Disponível em: < <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2005/artigos/49cbc-15-05.pdf>>. Acesso em: Janeiro/2020.
15. ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. A Versatilidade do Cimento Brasileiro. Disponível em:< <https://abcp.org.br/cimento/tipos/>> Acesso em: Fevereiro/2020.
16. NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda., 2010.
17. GUEDES, S. B. COUTINHO, R. Q. FONSECA, A. V. Detalhes sobre os ensaios de compressão não confinada e tração por compressão diametral. Geotecnia n° 136 - março 2016 - p. 127-142. Disponível em: <<http://www.spgeotecnia.pt/uploads/jgeot201613608.pdf>> Acesso em: Fevereiro/2020.
18. CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Banco de dados, Cimento: Dados consolidados - Brasil 1950 a 2013, 2020. Disponível em: < <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>> Acesso em:

Janeiro/2020.

19. SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Números da indústria. Rio de Janeiro, 2014-2019. Disponível em: < <http://snic.org.br/numeros-industria.php>> Acesso em: Janeiro/2020.
20. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da população - EstimaPop. 2011-2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estimapop/tabelas>> Acesso em: Janeiro/2020.
21. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico: séries históricas, 1872-2010. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9665&t=series-historicas>> Acesso em: Janeiro/2020.
22. BARBOSA FILHO, F. H. A crise econômica de 2014/2017. Estudos avançados 31 (89), 2017 Disponível em: < <https://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0051.pdf>> Acesso em: Janeiro/2020.
23. ROSSI, P. MELLO, G. Choque recessivo e a maior crise da história: a economia brasileira em marcha à ré. Centro de Estudos de Conjuntura e Política Econômica - IE/UNICAMP. Nota co Cecon, n.1, Abril de 2017. Disponível em: <https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/NotaCecon1_Choque_recessivo_2.pdf> Acesso em: Fevereiro/2020.
24. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contas Nacionais Trimestrais: Indicadores de Volume e Valores Correntes. Jan-Mar 2019. Disponível em:< https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2019_1tri.pdf> Acesso em: Janeiro/2020.
25. WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. The cement sustainability initiative: our agenda for action. 2002. Disponível em: <<http://docs.wbcsd.org/2002/06/TheCementSustInitiative.pdf>> Acesso em: Março/2020.
26. SCRIVENER, K. L. JOHN, V. M. GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials

- industry, *Cements and Concrete Research* 114, 2018. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0008884618301480?token=BDAB3290DB5D3E64DB5FFAC6DC6BD2781D514B49324F6F5F13CCA7B3352EF463662513AEF8013B479AD5B08EF073EA8C>> Acesso em: Março/2020.
27. RODRIGUES, A. F. S. FONSECA. D. S. Cimento, 2013. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-2-2013-calcario-2013-gipsita-cimento/@@download/file/8.2%20%E2%80%93%20Calc%C3%A1rio%20%E2%80%93%20Gipsita%20-%20Cimento.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
28. GCCA - GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. GNR Project: Reporting CO2. Disponível em: <<https://gccassociation.org/gnr/>> Acesso em: Abril/2020.
29. OFICEMEN - AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA. Anuario del sector cementero español: anuario 2004. Disponível em: <<https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/05/oficemen04-compressed.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
30. OFICEMEN - AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA. Anuario del sector cementero español 2013. Disponível em: <<https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/05/Memoria-anual-2013-compressed.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
31. OFICEMEN - AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA. Anuario del sector cementero español 2015. Disponível em: <<https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/05/Anuario-Oficemen-2015-compressed.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
32. PETRONI, S. L. G. AVALIAÇÃO CINÉTICA E DE EQUILÍBRIO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DOS ÍONS DOS METAIS CADMIO, COBRE E NÍQUEL EM TURFA. 2004, Tese (doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear- Aplicações) .- IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Luis%20Graciano%20Petroni_D.pdf> Acesso em: Abril/2020.
33. RIBEIRO, N. C. Uso da turfa como material alternativo na formação de componentes

- eletrônicos de baixo custo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: < https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13633/1/2012_NiltonCesarRibeiro.pdf> Acesso em: Novembro/2019.
34. LAMIN, A. P. B. et al. Caracterização química e física de turfa litorânea e avaliação da adsorção competitiva por cobre e zinco. Química nova, Brasil, v. 24, n. 1, p. 18-23, 2001. Disponível em: < <https://www.scielo.br/pdf/qn/v24n1/4444.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
35. CLARK, D. JOOSTEN, H. Wise use os mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making. IMCG and IPS, 2002. Disponível em: < http://www.imcg.net/media/download_gallery/books/wump_wise_use_of_mires_and_peatlands_book.pdf > Acesso em: Dezembro/2019.
36. COSTA, R. S. et al. Turfa como uma alternativa de baixo custo para produção de pontos quânticos de carbono. 22º CBCiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, 2016, Anais... Natal-RN, CBCiMat, 2016. Disponível em: < <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/410-004.pdf> > Acesso em: Novembro/2019.
37. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2019.
38. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2016.
39. MARTINS, D. G. Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de módulo de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia - GO. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Estruturas e Materiais), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2008.
40. CRESPO, A. A. Estatística fácil. 18 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2002, 224P.

41. LEMES, S. P. S. Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação. Campus Tecnológico de Alegrete, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riui/1639/1/An%C3%A1lise%20de%20desempenho%20em%20argamassa%20de%20assentamento%20e%20de%20revestimento%20com%20incorpora%C3%A7%C3%A3o%20de%20cinza%20de%20casca%20de%20arroz.pdf>> Acesso em Maio/2020.
42. CINTRA, C. L. D. PAIVA, A. E. M. BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. Cerâmica [online]. 2014, vol.60, n.353, pp.69-76. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132014000100010&script=sci_abstract&tlng=pt> Acesso em: Maio/2020.
43. SILVA, C. et al. Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas de revestimento cimentícias produzidas com aditivos químicos plastificantes. 22º CBCiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, 2016, Anais... Natal-RN, CBCiMat, 2016. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-061.pdf>> Acesso em: Abril/2020.
44. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro. 2005.
45. SILVA, N. G. CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006, Anais... Florianópolis-SC, ENTAC, 2006. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/links-2/noticias/ENTAC2006_Finos.pdf> Acesso em: Maio/2020.
46. FUNDAÇÃO SOS PRO-MATA ATLÂNTICA. Cada árvore da Mata Atlântica chega a tirar 163 kg de gás carbônico da atmosfera. 2013. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/noticias/cada-arvore-da-mata-atlantica-chega-a-retirar-163-kg-de-gas-carbonico-da-atmosfera/>> Acesso em: Maio/2020.