

UNIVERSIDADE DE UBERABA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MESTRADO PROFISSIONAL

KLEVERTON RODRIGUES DA COSTA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DOS ESTEATITOS
COMO BASE PARA FUNDAÇÃO DE PEQUENOS EDIFÍCIOS**

UBERABA-MG

2021

KLEVERTON RODRIGUES DA COSTA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DOS ESTEATITOS
COMO BASE PARA FUNDAÇÃO DE PEQUENOS EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química–Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba(PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador: Prof^o. Dr. Adriano Dawison de Lima

Coorientador: Prof^o .Dr. Leonardo Campos de Assis

UBERABA-MG

2021

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

C823d Costa, Kleverton Rodrigues da.
Determinação da capacidade resistente dos esteatitos como base para fundação de pequenos edifícios / Kleverton Rodrigues da Costa. – Uberaba, 2021.
51 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Dr. Adriano Dawison de Lima.
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis.

1. Rochas metamórficas. 2. Fundações (Engenharia). 3. Modelos matemáticos. I. Lima, Adriano Dawison de. II. Assis, Leonardo Campos de. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 552.4

KLEVERTON RODRIGUES DA COSTA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DOS ESTEATITOS COMO
BASE PARA FUNDAÇÃO DE PEQUENOS EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Química
do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química - Mestrado Profissional da Universidade de
Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos
Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 31/03/2022

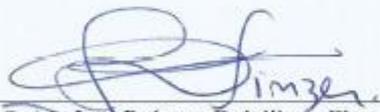
BANCA EXAMINADORA:



Prof(a). Dr(a). Leonardo Campos de Assis - orientador
Universidade de Uberaba



Prof(a). Dr(a). Deusmaque Carneiro Ferreira
Universidade Federal do Triângulo Mineiro



Prof(a). Dr(a). José Roberto Delalibera Finzer
Universidade de Uberaba

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família: meus pais, meus avós, meu filho e minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Dawison de Lima pela confiança, compreensão e apoio em todos os momentos da construção desse trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis por acreditar nesse projeto desde o seu nascimento.

Ao Prof.Dr. José Roberto Delalibera Finzer, gestor do PPGEQ-MP/UNIUBE pelo acolhimento no programa de mestrado.

À secretária Rayane dos Santos.

Aos amigos da pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de MinasGerais-FAPEMIG, à CAPES-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à UNIUBE-Universidade de Uberaba pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

RESUMO

Com o crescimento acelerado do número de habitações no Brasil, as tecnologias neste setor também aceleraram impulsionadas por novas teorias e saberes desenvolvidos no âmbito da academia. Deste modo o empirismo, que por muito tempo foi aceito para determinação da resistência do solo que serve de fundação aos edifícios de pequeno porte, deu lugar às sondagens de solo e aos métodos e modelos matemáticos de determinação de resistência. Na cidade de Uberaba e nas cidades vizinhas há muita ocorrência de um tipo de rocha branda e muito macia, denominada Esteatita. Conhecida como pedra-sabão a esteatita é tratada como um problema no dimensionamento de fundações assentes sobre ela, pois a mesma não possui resistência de outras rochas e também é sabido que é mais resistente que a maioria das espécies de solos. Como o ensaio mais comum e financeiramente acessível, o ensaio de percussão (SPT), não consegue penetrar na Esteatita, sua capacidade resistente à compressão só é determinada através do ensaio de trato rotativo. Este ensaio é caro e, por este motivo, não é realizado na maioria das obras de pequeno porte. Deste modo as fundações são superdimensionadas para que não haja surpresas com relação a recalques, roturas e esmagamento. Por este motivo, este trabalho se debruça em métodos de análise da resistência compressão uniaxial das rochas esteatitas, correlacionando-a com os índices físicos: densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água. Este último o mais simples e possível ser aplicado sem muitos recursos laboratoriais. Este trabalho foi desenvolvido usando métodos simples de extração dos testemunhos e recursos diversos do laboratório de materiais de construção civil da Universidade de Uberaba. Deste modo foi determinada a tensão de fratura, ruptura e pudemos observar maior que qualquer classe de solo. Pudemos também, correlacionar a absorção aparente com a resistência à compressão da rocha.

Palavras-chave: esteatito, fundações, resistência a compressão, modelos matemáticos.

ABSTRACT

With the rapid growth in the number of homes in Brazil, technologies in this sector also accelerated, driven by new theories and knowledge developed within the scope of academia. Thus, empiricism, which for a long time was accepted for determining the strength of the soil that serves as a foundation for small buildings, gave way to soil surveys and the methods and mathematical models for determining strength. In the city of Uberaba and neighboring cities there is a lot of occurrence of a type of soft and very soft rock, called Steatite. Known as soapstone, steatite is treated as a problem in the dimensioning of foundations based on it, as it has no resistance from other rocks and is also known to be more resistant than most soil species. As the most common and affordable test, the percussion test (SPT), cannot penetrate Steatite, its compressive strength is only determined through the rotary tract test. This test is expensive and, for this reason, it is not performed in most small works. Thus, foundations are oversized so that there are no surprises with regard to settlements, ruptures and crushing. For this reason, this work focuses on methods for analyzing the uniaxial compressive strength of steatite rocks, correlating it with physical indices: apparent density, apparent porosity and water absorption. The latter is as simple and as possible to be applied without many laboratory resources. This work was developed using simple methods of extracting the testimonies and various resources from the civil construction materials laboratory at the University of Uberaba. In this way, the fracture and rupture stress was determined and we could observe higher than any soil class. We were also able to correlate the apparent absorption with the compressive strength of the rock.

Keywords: steatit, foundations, compressive strength, mathematical models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cristo Redentor.	4
Figura 2: Laudo de Sondagem SPT da empresa Geotork Uberaba.	5
Figura 3: Amostras de esteatito retiradas do canteiro de obras em Uberaba.	6
Figura 4: Difractograma.	6
Figura 5: Fotomicrografias do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (Lourdes).....	10
Figura 6: Fotomicrografias do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (Furquim).	10
Figura 7: Fotomicrografia do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (Acaiaca).....	11
Figura 8: Mercado consumidor brasileiro por setor industrial de talco e assemelhados.....	13
Figura 9: Participação por estado no setor industrial de talco e assemelhados.....	14
Figura 10: Esquema de extração e produção.	15
Figura 11: Superestrutura e infraestrutura.	19
Figura 12: Sapata isolada.	20
Figura 13: Localização do terreno onde será executado a obra e local da retirada.	29
Figura 14: Coloração da rocha esverdeada e valas abertas para retirada dos testemunhos.	29
Figura 15: Coloração esverdeada da amostra.....	30
Figura 16: Localização do terreno onde retirou-se a segunda amostra.	31
Figura 17: Coloração acinzentada da amostra.	31
Figura 18: Estufa para secagem das amostras.	32
Figura 19: Balança de precisão.....	32
Figura 20: Testemunho a ser rompido.....	34
Figura 21: Resistências últimas dos testemunhos deste trabalho e de Maciel (2002).	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Mercado consumidor brasileiro por setor industrial de talco e assemelhados.	13
Tabela 2: Saldo comercial dos minerais do grupo talco.....	14
Tabela 3: Principais minas de extração de esteatito em Minas Gerais.....	16
Tabela 4: Escala de dureza de Mohs.	17
Tabela 5: Resistência à compressão da rocha em função de sua dureza.	18
Tabela 6: Resistências últimas dos testemunhos estudados neste trabalho e por Maciel (2002).	39
Tabela 7: Relações entre tensões de ruptura e primeira fratura, URA 1.....	40
Tabela 8: Relações entre tensões de ruptura e primeira fratura, URA 1.....	41
Tabela 9: Índices físicos das amostras URA 1.....	42
Tabela 10: Índices físicos das amostras URA 2.....	42
Tabela 12: Área da sapata para várias cargas transmitidas, URA 1 e URA 2.	44

LISTA DE EQUAÇÕES

$A = \frac{(P + pp)}{\sigma_s} + \frac{M}{I} * \bar{y}$	26
$h \geq \frac{(a-ap)}{3}$	27
$M_{\text{mín}} = (1,5 \text{ cm} + 0,03*h)$	35
$\rho_a = \frac{M_{\text{sec}}}{(M_{\text{sat}}-M_{\text{sub}})} * 100$	36
$\eta_a = \frac{(M_{\text{sat}}-M_{\text{sec}})}{(M_{\text{sat}}-M_{\text{sub}})} * 100$	36
$\alpha_a = \frac{(M_{\text{sat}}-M_{\text{sec}})}{M_{\text{sec}}} * 100$	36
$\sigma = \frac{P}{A}$	35
$\Delta y^2 = (y_i - f(t_i))^2$	36
$\rho_{S(\beta)} = \sum_{i=1}^n [i_1 - \beta_1 \mu_1(t) - \beta_2 \mu_2(t)]^2$	39
$\frac{\partial}{\partial \beta_1} S = \frac{\partial}{\partial \beta_2} S = 0$	40
$y = a*x^2 + b*x + c$	40
$R^2 = \left(\frac{\sum X.Y \cdot \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}] \cdot [\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}]}} \right)^2$	40
$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}$	40

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	viii
2 INTRODUÇÃO	1
3 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivos Específicos.....	3
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Histórico	4
3.2. Características Químicas	5
3.2.2 Coloração e textura	9
3.2.3 Processos	11
3.3 Aplicação da esteatita na indústria	12
3.4 Processo de extração, locais de extração e importância econômica do Esteatito. ..	14
3.4 Características Físicas	16
3.5 Definição de Fundação	18
3.5.1 Fundações Rasas.....	19
3.5.2 Fundações Profundas.....	22
3.6 Ações	23
3.6.1. Ações Permanentes.....	23
3.6.2. Ações Variáveis	24
3.6.3. Ações excepcionais	24
3.7 Carregamentos.....	24
3.8 Vinculações.....	25
3.9 Normativas em Vigor para Fundações	25
3.10 Determinação da Área em Planta da “Sapata”	26
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Local de Retirada das amostras.....	28
4.1.1 Primeira Amostragem	28
4.1.2 Segunda Amostragem	30
4.2 Determinação dos Índices Físicos	31

4.3	Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial à Primeira Fratura e ao ELU	34
4.4	Método para Dimensionamento das Sapatas.....	35
4.5	Modelo Matemático	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Resistência à Compressão	38
5.2	Índices Físicos para os Esteatitos	41
5.3	Modelos Matemáticos	42
5.4	Dimensionamento da Fundação “Sapata” em Função da Resistência a Fratura da Rocha.	44
7	CONCLUSÃO.....	45

1 INTRODUÇÃO

Ao abordar os conhecimentos da mecânica das rochas aplicada à engenharia civil, em fundações, imagina-se sempre um maciço de formação ígnea, sedimentar ou metamórfica de alto grau de dureza e conseqüentemente com resistência elevada ao esforço de compressão uniaxial, que é simplificada o esforço solicitado por algumas fundações, tais como as sapatas e os tubulões. Ocorre que na região de Uberaba-MG há bastante ocorrência de minerais de baixa dureza denominados Esteatitos. As mesmas formações rochosas são encontradas em: Santa Rita de Ouro Preto, Viriato, Acaiaca, Congonhas do Campo, Cachoeira do Brumado e Ouro Branco, todas em Minas Gerais, segundo os apontamentos de Maciel (2012).

Segundo a NBR 6122/2019:

“Reconhecendo que a engenharia geotécnica não é uma ciência exata e que riscos são inerentes a toda e qualquer atividade que envolva fenômenos ou materiais da Natureza, os critérios e procedimentos constantes desta Norma procuram traduzir o equilíbrio entre condicionantes técnicos, econômicos e de segurança usualmente aceitos pela sociedade na data de sua publicação. Nos projetos civis que envolvem mecânica dos solos e mecânica das rochas, o profissional habilitado com notória competência é o profissional capacitado a dar tratamento numérico ao equilíbrio mencionado”.

Deste modo, o ensaio mais comum de prospecção e determinação da resistência de solos, o SPT – Standard Penetration – não consegue medir a resistência uniaxial à compressão do Esteatito. É também utilizado o ensaio de Trado rotativo, mais robusto e, portanto, extremamente oneroso em relação ao custo da obra e em relação aos ensaios comuns de prospecção.

Este mineral possui sua utilização muito ligada ao artesanato, elementos esculpidos e confecções de utensílios como as panelas e recipientes de guardado. Além da baixa dureza, a facilidade de extração estimulou o emprego da pedra-sabão na confecção de peças artesanais, como objetos de arte e utensílios culinários. Acredita-se que os indígenas que ocupavam a região do Sudeste do Brasil foram os primeiros indivíduos no continente sul-americano a usar a pedra-sabão esculpida na forma de utensílio para o contato com alimentos (Quintais, 2006). Obras de arte à

base de pedra-sabão são conhecidas através do famoso escultor, arquiteto e entalhador Antonio Francisco Lisboa, conhecido como Aleijadinho.

Sua resistência à compressão uniaxial é considerada muito baixa, macia e com a menor dureza na escala de Mohs. Apesar destas características supracitadas, os sistemas e maquinários convencionais de perfuração de solos não conseguem vencer sua resistência superficial, ou seja, perfurar o esteatito, obrigando, deste modo, a apoiar as fundações profundas – ou rasas, por vezes – diretamente sobre esta espécie de rocha.

Em face do exposto a execução de fundações sobre a esteatita a prospecção e retirada de testemunhos *in loco* torna-se muito importante para determinação da resistência às solicitações da fundação assente sobre a mesma. Deste modo, a caracterização tecnológica com ênfase na capacidade resistente à compressão dos esteatitos serve como um referencial importante para pré-dimensionamento de fundações de grandes e médias edificações assentes sobre este mineral, bem como referência de cálculo para fundações de pequenas edificações.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi a caracterização física de minerais esteatitos para aplicação em estudos de fundação em engenharia civil.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Determinar os índices físicos e de resistência da rocha esteatita:

- b) Ajustar modelos de regressão que relacionem resistência à compressão em função da absorção de água pelo mineral.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Histórico

Há muito a esteatita é conhecida e utilizada para fabricação de utensílios domésticos e esculturas, vide as obras do escultor Antonio Francisco Lisboa, “Aleijadinho”, no final do século XVIII. Muito conhecida como pedra-sabão, a mesma compõe vários itens domésticos e enfeites.

De acordo com o exposto por Lippmann (2012), a primeira utilização da esteatita remonta à época em que os índios que habitavam a região do Vale do Itacolomi a empregavam na fabricação de utensílios como as até hoje conhecidas panelas de pedra-sabão. Ainda de acordo com o que ele afirma (p. 2), o artesanato com a pedra-sabão é uma atividade que agrega valor cultural, histórico e econômico tanto para os moradores quanto para o município.

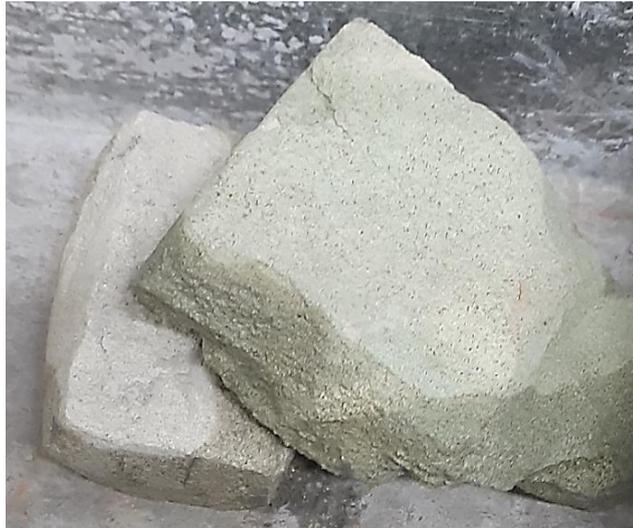
Um monumento que dá muita visibilidade à utilização escultural da pedra-sabão é o Cristo Redentor na cidade do Rio de Janeiro localizada a 709 metros de altura, é totalmente revestida de chapas de pedra-sabão. Foi construída no período de 1926 a 1931. Durante 80 anos, é exposta a rigorosas condições atmosféricas sem ser afetada, suas características estéticas mantêm-se incólumes. A imagem (1), abaixo, demonstra detalhes da escultura icônica.



Figura 1: Cristo Redentor.

Fonte: Greenme Brasil.

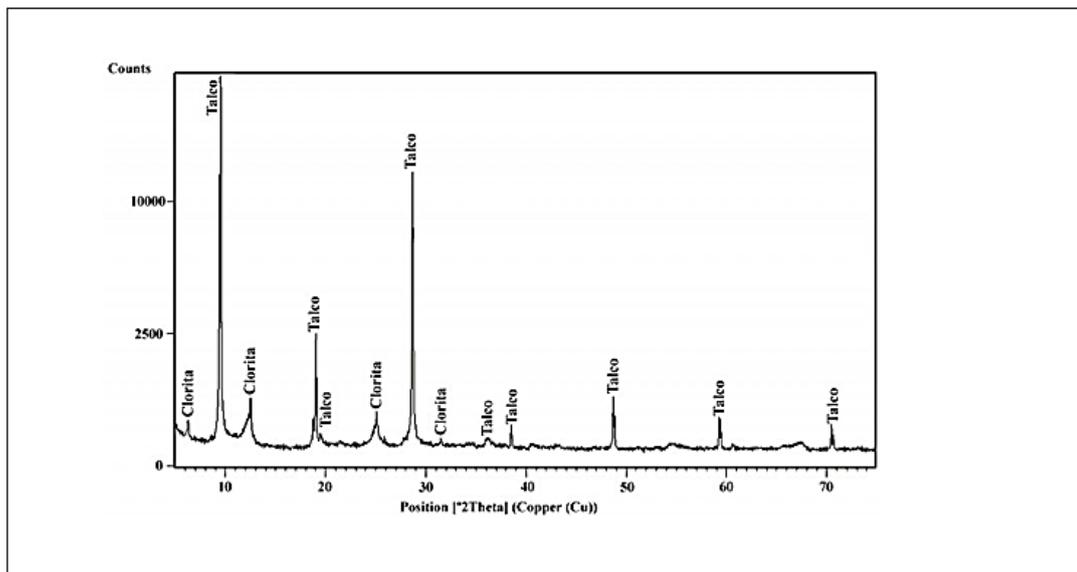
Figura 3: Amostras de esteatito retiradas do canteiro de obras em Uberaba.



Fonte:Autor (2021).

Fonseca (2011) apresenta uma imagem de um difratograma que demonstra o predomínio de talco, com clorita subordinada, conforme apresentado na Figura 4:

Figura 4: Difratograma da rocha esteatita com predomínio de talco.



Fonte: Fonseca (2011). Intensidade (counts) x Posição.

Já Quintaes (2006) pondera que durante o metamorfismo do esteatito, elementos podem ser incorporados aos minerais recristalizados, na maioria das vezes na forma de substituições. Ele continua explicando que pelos seus raios iônicos, valência e distribuição de carga, pequenas quantidades de níquel substituem o magnésio na serpentina; cromo na posição do titânio na titanita; cromo

substituindo o ferro, e níquel ou cobalto no lugar do ferro na magnetita; níquel ou cobalto substituindo o ferro na pirita; e cromo, níquel e titânio em cloritas, podem ser observados.

3.2.1 Processo Químico – Reação

Segundo Maciel (2002), esteatitos resultam da atuação de diferentes transformações, envolvendo inicialmente a hidratação de rochas duníticas ou peridotíticas, com a principal transformação de olivina em serpentina. Posteriormente, em zonas especiais, ocorre o denominado sistema de esteatização, que consiste na transformação dos serpentinitos em esteatitos, com a formação do talco a partir da reação entre serpentina e sílica.

Segundo Moody (1976), o esteatito é produto de algumas transformações ante sua formação. Estas transformações são especificados a seguir:

Processo Magmático: Os peridotitos e dunitos são formados a partir da cristalização de magmas pouco diferenciados, pobres em elementos voláteis e sob condições de altas temperaturas. A mineralogia ígnea original (olivina e piroxênio) dos ultramafitos são essencialmente anidros e muito pouco estáveis sob quaisquer condições de metamorfismo, MACIEL (2002).

Os minerais do grupo serpentina correspondem a filossilicatos trioctaédricos hidratados. Moody (1976) cita que a pressão e temperatura necessárias a serpentinização, influenciam no equilíbrio das fases sobre os minerais do grupo da serpentina.

Wicks & Whittaker (1977) mostraram, a partir de estudos petrográficos realizados em uma série de litotipos ultramáficos, que a olivina é o constituinte mais sensível ao processo de serpentinização, seguida de ortopiroxênio e clinopiroxênio, este último mais resistente à alteração.

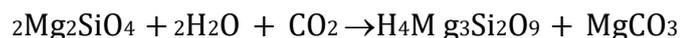
Transformação Hidrotermal: O caráter anidro faz com que a mineralogia original seja transformada numa série de minerais hidratadas. É sabido que os minerais que comumente predominam como resultado deste processo de

transformação metamórfica são as serpentinas, portanto, serpentização. Esta pode ser considerada como uma transformação que envolve a transformação metamórfica dos minerais ígneos originais de uma rocha ultramáfica em minerais predominantemente do grupo das serpentinas. Ou seja, pode ser obtida a partir da hidratação de uma rocha ultramáfica sob condições metamórficas.

Para que haja este nível de hidratação das rochas é necessário determinado nível de permeabilidade global e à existência de um escoamento constante de soluções essencialmente aquosas através dela. KORZHINSKII (1970).

Maciel (2002) cita que os peridotitos e dunitos têm como principais produtos resultantes da alteração hidrotermal: os serpentinitos, talcitos, clorita-talcitos e outros menos frequentes.

Deste modo, verifica-se que a atuação de processos alquímicos envolvendo as rochas dunitos e peridotitos resultam em modificações químicas e alterações mineralógicas com substituição de olivinas e piroxênios primários por serpentinas, anfibólios, cloritas e carbonato. Como há predomínio da serpentina, o produto é denominado serpentinito. Sob condições de temperatura em elevação e em presença de sílica, esses serpentinitos são transformados em esteatitos (pedra-sabão), a partir da reação da serpentina com a sílica, que resulta na formação do talco e liberação de H_2O , como mostrado na equação química a seguir:



Transformação de metamorfismo: De acordo com Korzhinskii (1970), o metassomatismo é, essencialmente, um processo metamórfico que envolve a transferência bilateral de massa, a partir do estabelecimento de um gradiente de concentração química entre o ultramafito e sua encaixante; e que pode ser dividido em dois tipos extremos: difusão e infiltração. Na difusão o material é transferido pela difusão através das soluções intersticiais estacionárias.

Segundo Korzhinskii 1970, o metassomatismo por infiltração pode ser visualizado como sendo a introdução de material com composição química muito diferente àquela da rocha ultramáfica. Desta maneira, pode-se considerar uma transferência bilateral de massa estabelecida pela difusão química, ou por transporte por solução através do contato de dois tipos de materiais reagentes.

Segundo Evans & Trommsdorf (1977), a formação do esteatito dá-se a partir da desestabilização da serpentina sob condições de metamorfismo crescente, como demonstrado na equação química a seguir:



Por fim, é possível observar que para a formação da esteatita são necessárias três transformações e duas modificações.

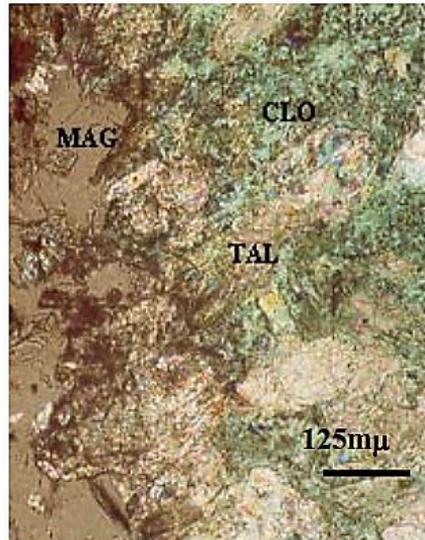
3.2.2 Coloração e textura

Silva e Roeser (2003), inferem sobre a composição dos esteatitos de modo que os possuem textura afanítica a fanerítica, são cinzas a cinzas esverdeadas quando frescos, variando de tonalidade segundo a composição mineralógica. Tanto na rocha fresca como na rocha intemperizada é possível observar fissuras com espessuras de décimos de milímetros até centimétricas.

Salas, *et al* (2005) estudaram os esteatitos quanto a formação e composição mineralógica, sua estrutura interna e a relação entre os minerais constituintes e sua coloração. Vale ressaltar que este estudo foi feito com amostras retiradas do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais.

Na Figura 5, nota-se a constituição predominantemente de clorita em finíssimas lamelas, sendo associado ao talco com textura escamosa. Segundo Salas *et al* (2005), em alguns locais demonstram um incipiente processo de alteração a óxido de ferro. A magnesita é um mineral acessório frequente e disperso em toda a amostra, ocorrendo, preferencialmente, em porfiroblastoseuédricos e bem desenvolvidos. A dolomita, que é de granulação fina, ocorre em cristais subédricos a anédricos, encontrando-se associada às concentrações de talco. Os minerais opacos encontram-se como acessórios frequentes, principalmente, representados pela pirita, pirrotita e magnetita, sendo escassos a raros a calcopirita, ilmenita e pentlandita.

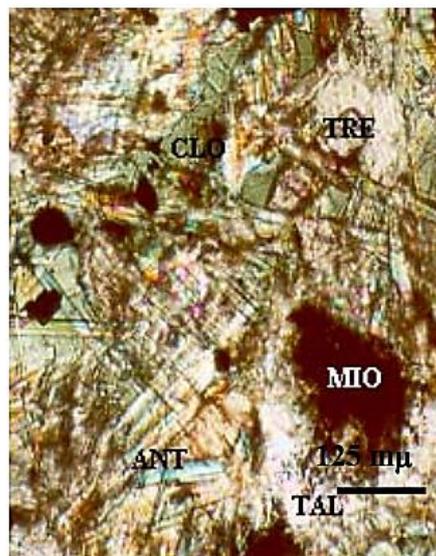
Figura 5: Fotomicrografias do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (região de Lourdes).



Fonte: Salas, et al (2005).

Em relação a segunda amostra estudada por Salas *et al* (2005), a antofilita está presente como mineral essencial, os minerais opacos ocorrem como acessórios de maior frequência e a tremolita encontra-se pouco freqüente, conforme apresentado na Figura 6:

Figura 6: Fotomicrografias do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (região de Furquim).

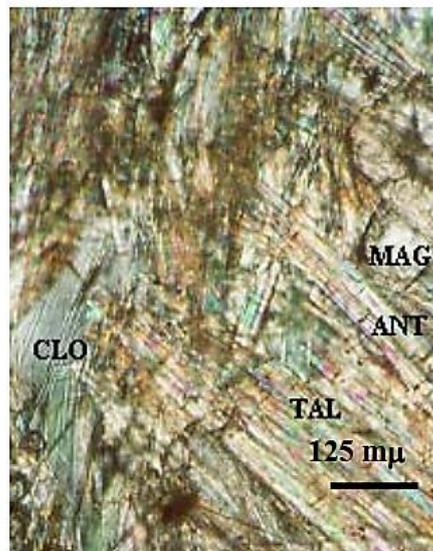


Fonte: Salas, *et al* (2005).

Na amostra vista através da Figura 6, o talco é o mineral essencial predominante. Constitui finíssimas escamas, associando-se a antofilita.

Este último mineral, às vezes, sobressai-se pelo maior tamanho, encontrando-se também associado a uma frequente presença de minerais opacos com formatos subédricos a anédricos e bem desenvolvidos. Veja a imagem da amostra retirada em Acaiaca na Figura 7:

Figura 7: Fotomicrografia do esteatito, aspecto textural e composição mineralógica (Acaiaca).



Fonte: Salas *et al* (2005).

Deste modo, Costa e Campello (2015) expressam que levando-se em conta a presença, nos serpentinitos ou esteatitos, de minerais, tais como o talco, a clorita, anfibólios, olivinas e carbonatos, pode-se observar modificações cromáticas importantes. Enquanto nos serpentinitos a predominância é pela coloração verde, mais clara ou escura, nos esteatitos a mesma pode variar entre tons de cinza e de verde, até os esbranquiçados.

3.2.3 Transformação de Degradação

O processo de envelhecimento e degradação da rocha por meio da exposição ao ambiente e as intempéries depende diretamente do nível de exposição e os gases e poluentes atmosféricos. Segundo Silva & Roeser a complexa composição do mineral esteatita faz com que sua degradação seja lenta e de longa duração.

Ainda no mesmo estudo, nas amostras de esteatitas estudadas, a pirita e os carbonatos são os componentes mais facilmente oxidáveis.

3. 3Aplicação da esteatita na indústria

As citações apresentam a composição química e as características da esteatita, devido a estes compostos minerais, esta matéria prima é largamente utilizada no processo agro industrial, além de várias aplicações no campo de edificações e obras civis.

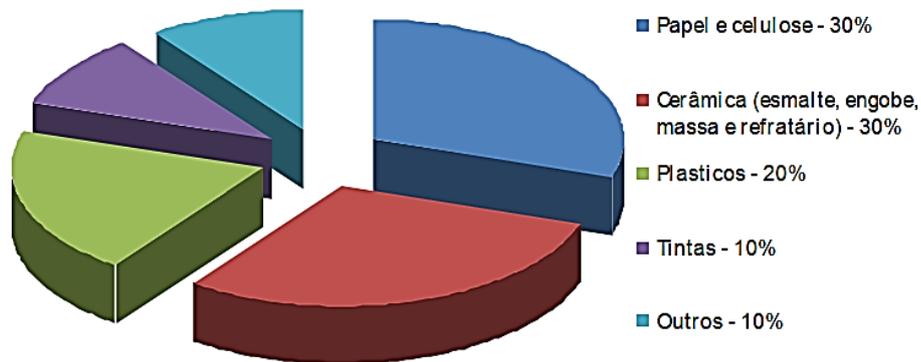
A denominação mineral talco é genérica para toda rocha talcosa, podendo incluir outros minerais em proporções diversas. Uma variedade muito conhecida é a pedra-sabão. Por outro lado, o mineral industrial conhecido como agalmatolito é uma rocha com alto teor de pirofilita.

Esses minerais assim como as rochas que os contém, em menor ou maior quantidade, apresentam uma estrutura de mercado inter-relacionada, razão pela qual há uma tendência mundial em tratar suas estatísticas de maneira agrupada.

Segundo Monte *et al* (2003), a maior parte da produção anual de talco é empregada nas indústrias de cerâmica, inseticidas, tintas, borrachas, papel, têxtil, cosméticos, isolantes térmicos, moldes de fundições, polidores de cereais, polidores de calçados, etc. Muitas dessas indústrias requerem um produto finamente moído que, às vezes, podem incluir o refugo do corte dos blocos de talco ou de blocos de esteatito. De modo geral, é muito importante a granulometria, o grau de pureza e a cor do produto. As especificações das propriedades físico-químicas necessárias variam com a destinação industrial do talco.

O mineral talco, o esteatito, o agalmatolito e a pirofilita estão sendo cada vez mais requisitados para emprego na indústria cerâmica - azulejos e pisos, porcelanas, esmaltes, refratários elétricos. Como, por exemplo, o agalmatolito vem sendo utilizado como fundente na fabricação de aditivos e na formulação de massas para revestimentos cerâmicos do tipo grês porcelanato (ALVES, 2005). Os setores produtivos que mais absorvem os minerais do grupo talco são visualizáveis na Figura 8:

Figura 8: Mercado consumidor brasileiro por setor industrial de talco e assemelhados.



Fonte: Fonseca (2011).

Segundo o levantamento feito pelo Ministério de minas e energia, relatório técnico 47, em 2007, a produção brasileira de talco e pirofilita atingiu 400.000 toneladas (DNPM, 2008), respondendo por cerca de 5% da produção mundial. A Tabela 1 mostra a produção nacional do triênio de 2006 à 2008. Importante ressaltar que apesar de desatualizada à contextualização contempla o raciocínio desenvolvido.

Tabela 1: Mercado consumidor brasileiro por setor industrial de talco e assemelhados.

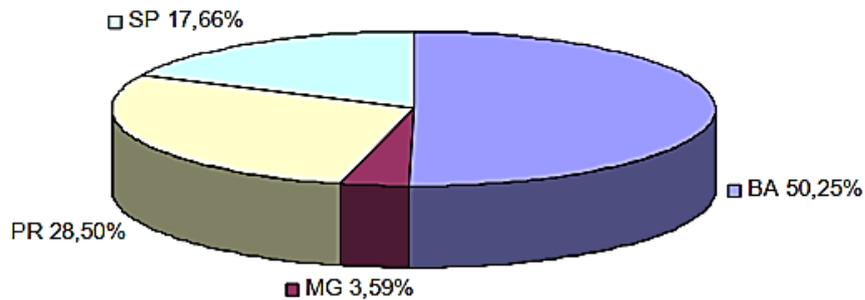
Ano	2006	2007	2008(p)
Produção (x 10 ³ t)	389	400	405

Fonte: Amaral – Departamento Nacional de produção Mineral (2010).

Segundo Amaral (2010), as principais ocorrências de talco no Brasil encontram-se nos estados do Paraná, São Paulo e em Brumado, no estado da Bahia, que fornecem material de boa qualidade industrial, mesmo do tipo cosmético, o que mais agrega valor.

Tal volume de produção ainda não é suficiente para suprir o consumo interno, uma vez que o saldo da balança comercial ao longo das últimas duas décadas aponta ocorrência de saldos negativos, ou seja, há mais importação do que exportação.

Figura 9: Participação por estado no setor industrial de talco e assemelhados.



Fonte: Amaral – Departamento Nacional de produção Mineral (2010).

A Tabela 2, adaptada do trabalho de Amaral (2010), demonstra o saldo comercial, ano a ano, de 1996 à 2008.

Tabela 2: Saldo comercial dos minerais do grupo talco.

Ano	Exportação (ton)	Valor (US\$)	Importação (ton)	Valor (US\$)	Saldo (ton)	Saldo Valor
1996	2.056	512.653	8.574	2.528.106	-6.518	-2.015.453
1997	3.914	1.228.214	9.495	2.726.811	-5.581	-1.498.597
1998	3.925	1.060.896	10.590	3.025.488	-6.665	-1.964.592
1999	6.028	1.976.189	10.763	3.192.476	-4.735	-1.216.287
2000	7.049	2.321.471	10.094	2.881.106	-3.044	-559.635
2001	6.300	1.826.221	8.066	2.266.936	-1.766	-440.715
2002	5.618	1.762.078	4.600	1.393.525	1.018	368.553
2003	5.605	1.489.356	5.005	1.736.500	-600	-247.144
2004	6.610	2.086.155	6.908	2.673.466	-298	-587.311
2005	7.088	2.376.351	4.625	1.837.540	2.462	538.811
2006	11.263	3.481.548	5.370	2.200.090	5.893	1.281.458
2007	18.468	5.296.872	7.159	2.608.639	11.308	2.688.233
2008	7.754	2.194.746	11.147	4.110.050	-3.393	-1.915.304

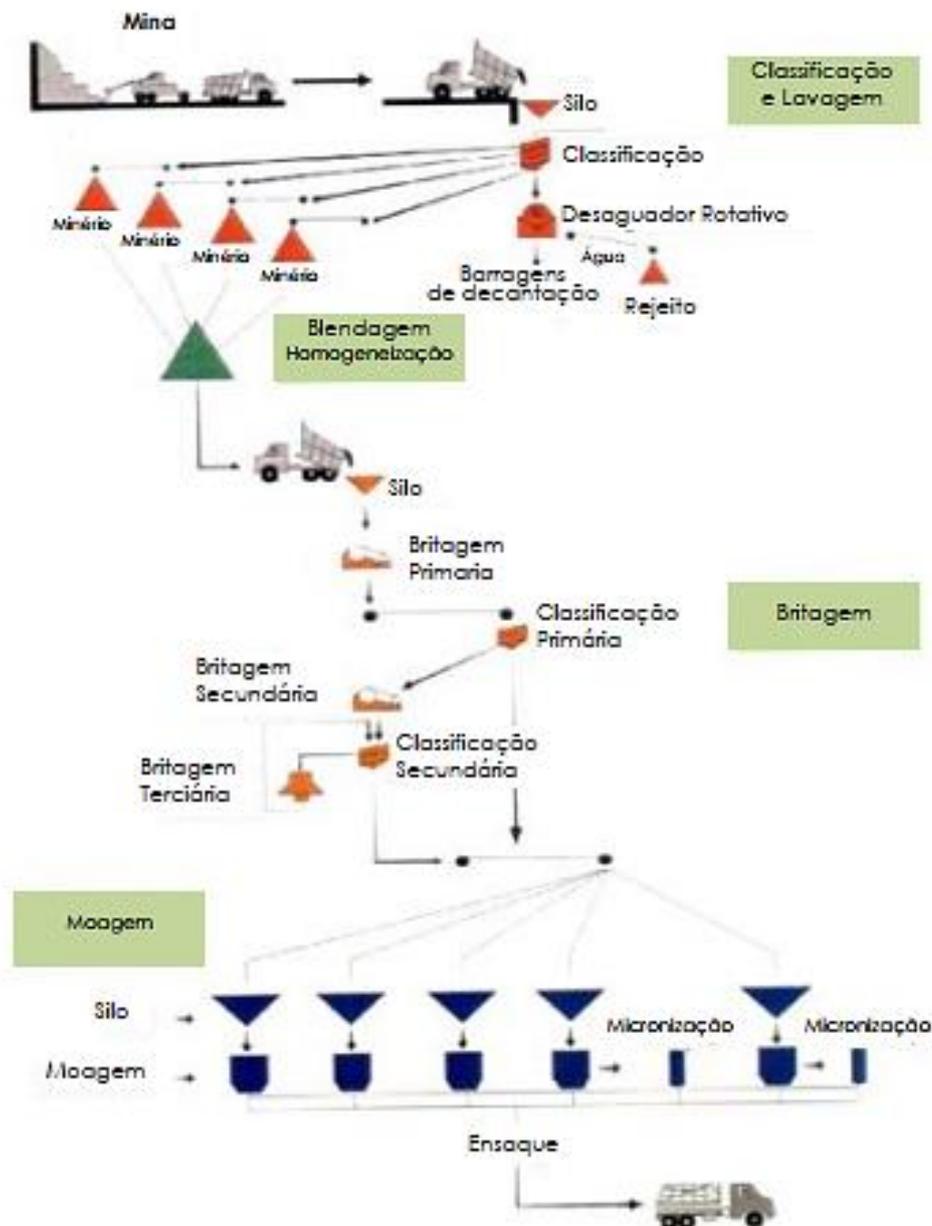
Fonte: Amaral – Departamento Nacional de produção Mineral (2010)

Analisando os dados divulgados no Sumário Mineral do ano de 2015, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a produção de talco beneficiada no ano de 2014 teve um acréscimo de 36,9 %. Se comparada ao ano anterior, esse acréscimo foi de 28,3 %, enquanto as importações cresceram 8,6 %.

3. 4 Processo de extração, locais de extração e importância econômica do Esteatito.

É possível verificar na Figura 10 o processo de extração, secagem e moagem para reduzir o minério à granulometria exigida pelo cliente, dependendo do ramo da utilização, conforme pode ser observado no fluxograma de beneficiamento da planta da empresa Lamil, vide Figura 10.

Figura 10: Esquema de extração e produção.



Fonte:Lamil (2020)

Segundo Monte et al (2003), muitas dessas indústrias requerem um produto finamente moído que, às vezes, podem incluir o refugo do corte dos blocos de talco ou de blocos de esteatito. De modo geral, é muito importante a granulometria, o grau

de pureza e a cor do produto. As especificações das propriedades físico-químicas necessárias variam com a destinação industrial do talco.

Minas Gerais é uma importante fonte de exploração de jazidas de rochas da família do talco, haja vista o quadrilátero ferrífero e sua abundância de pedra-sabão. Segundo Romano (2015), as principais minas de extração de esteatita, bem como sua situação operacional, estão listadas na Tabela 3:

Tabela 3: Principais minas de extração de esteatito em Minas Gerais.

SUBSTANCIA	TOPONÍMIA	MUNICÍPIO	STATUS ECONÔMICO	SITUAÇÃO
Esteatito, Serpentino	Ouro Branco	Ouro Branco	Garimpo	Intermitente
Esteatito, Serpentino	Ouro Branco	Ouro Branco	Mina	Intermitente
Esteatito, Serpentino	Stª Rita do Ouro Preto	Ouro Preto	Mina	Intermitente
Esteatito	Stª Rita do Ouro Preto	Ouro Preto	Garimpo	Intermitente
Talco, Esteatito	Stª Rita do Ouro Preto	Ouro Preto	Mina	Intermitente

Fonte: Adaptado de Monte et al (2003)

Apesar das minas e garimpos de exploração listadas na Tabela 3, Romano (2015) pondera que em Minas Gerais, os depósitos de talco são de qualidade inferior, por estarem associados às rochas ultrabásicas. O talco dessa gênese tem tonalidade esverdeada persistente, quase impossível de ser mitigado, o que inviabiliza sua utilização para finalidades industriais mais nobres, como por exemplo, talco destinado à indústria farmacêutica.

Além do processo agroindustrial, como a produção de inseticidas, e das demais utilizações industriais do grupo Talco, dentre eles o Esteatito, o trabalho a partir de agora se debruça sobre as características físicas que são inerentes a utilização desta rocha como terreno de base para fundações de pequenos edifícios.

3.4 Características Físicas

A esteatita é uma rocha muito branda e de baixa dureza, e ocupa a primeira posição na escala de Mohs; escala esta que foi criada em 1812 pelo mineralogista Frederich Mohs. Vide Tabela 4:

Tabela 4: Escala de dureza de Mohs.

Dureza	Mineral
1	Talco
2	Gipsita
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortoclásio (Feldspato)
7	Quartzo
8	Topázio
9	Coríndon
10	Diamante

Fonte: Frederich Mohs (1812).

Conforme apresentado na Tabela 4, a esteatita é o mineral de menor dureza da escala, por isso, pode ser riscado por qualquer um dos demais. Já o diamante, é o mais duro, sendo assim, risca todos os outros minerais e não pode ser riscado por nenhum deles, apenas por outro diamante. O valor de dureza 1 foi dado ao material menos duro que é o talco, e o valor 10, dado ao diamante que é a substância mais dura existente na natureza.

Segundo Maciel (2012) a resistência a compressão desta rocha é pouco estudada, uma vez que a esteatita não é uma rocha considerada para utilização em estruturas portantes e pouco estudada com relação à sua capacidade resistente como fundação de pequenos e médios edifícios.

Segundo a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, ISRM (1978), a escala de dureza de Mohs, apresentada na Tabela 5, serve como avaliação simples e rápida para nortear o calculista com relação à resistência à compressão, é visto na Tabela 5.

Tabela 5: Resistência à compressão da rocha em função de sua dureza.

NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO	IDENTIFICAÇÃO DE CAMPO	VALOR APROXIMADO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAIXIAL (MPa)
R0	Rocha extremamente fraca	Marcada com a unha	0,25 – 1,0
R1	Rocha muito fraca	Esmigalha-se com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete	1,0 – 5,0
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada com dificuldade com canivete, marcas podem ser feitas superficialmente com a ponta do martelo de geólogo	5,0 – 25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com simples golpes de martelo de geólogo	25 – 50
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais que um golpe de martelo de geólogo para se fraturar	50 – 100
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes de martelo de geólogo para se fraturar	100 – 200
R6	Rocha extremamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo	> 250

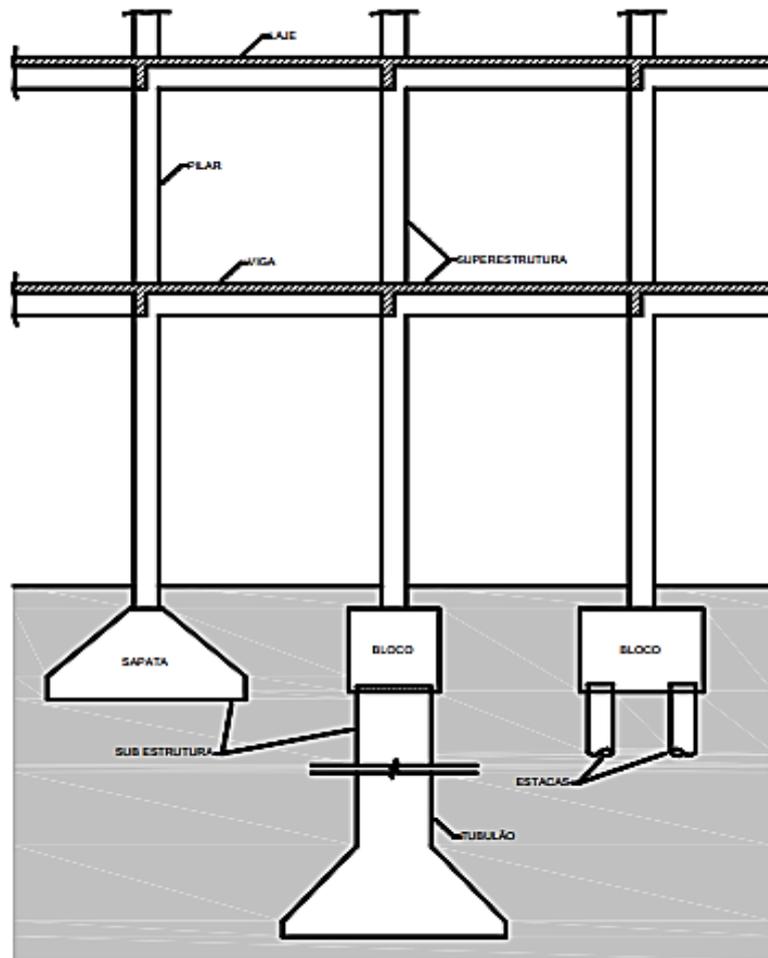
Fonte: ISRM (1978).

3.5 Definição de Fundação

Segundo Bastos (2019), a subestrutura, ou fundação, é a parte de uma estrutura composta por elementos estruturais, geralmente construídos abaixo do nível final do terreno, e que são os responsáveis por transmitir ao solo todas as ações (cargas verticais, forças do vento, etc.) que atuam na edificação.

Deste modo, a estrutura posicionada acima e que se apoia na subestrutura é chamada superestrutura. As ações que atuam na superestrutura das edificações são transferidas na direção vertical geralmente por pilares ou paredes de concreto. Como o solo geralmente tem resistência muito inferior à do concreto do pilar, é necessário projetar algum outro tipo de elemento estrutural com a função de transmitir as ações ao solo. BASTOS (2019). Os elementos mais comuns para cumprir essa função são as sapatas e os blocos, estacas e tubulões, sendo que os blocos atuam como elementos de transição das ações, dos pilares para as estacas ou tubulões, apresentado na Figura 11.

Figura 11: Superestrutura e infraestrutura.



Fonte: Bastos (2016).

3.5.1 Fundações Rasas

Fundações rasas são amplamente empregadas em obras de pequeno porte por descarregarem menos carga na fundação; Por vezes é adotada também em grandes obras quando a geologia do terreno assim o exija. Dois exemplos reais na cidade de Uberaba são os prédios assentados diretamente sobre a rocha Esteatita com fundações rasas do tipo sapatas.

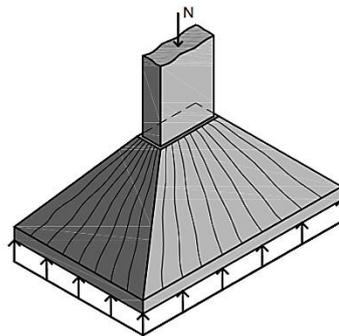
Segundo o item 3.1 da NBR 6122-2010 fundação rasa consiste no elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

Pode-se elencar as principais fundações rasas como sendo as sapatas e os *radier's*.

Em virtude das dimensões de sua profundidade, as fundações superficiais são utilizadas em construções de pequeno porte. Em função dessa característica, segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), é comum que essas fundações sejam projetadas tendo como base as soluções de obras circunvizinhas, e executadas sem a supervisão e acompanhamento de profissionais qualificados.

A principal característica desse tipo de fundação é a transferência de cargas para o solo, que é realizada através da sua base, conforme apresentado na Figura 12. Com isso, as cargas pontuais, como as provenientes dos pilares, por exemplo, são convertidas em cargas distribuídas ao longo de todo o elemento, fazendo assim com o que o solo seja capaz de suportar tal carga, Figura 12.

Figura 12: Sapata isolada.



Fonte: Bastos (2016).

3.5.1.1 Sapatas

Este elemento muito comum na fundação de pequenos edifícios pode ser conceituado a partir da leitura do item 3.2 da NBR 6122-2010 sendo o elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim. Ainda na mesma NBR 6122-2010, no item seguinte continua: estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação, no caso de fundação direta.

As sapatas são construídas em concreto armado, e podem ter praticamente qualquer forma em planta, sendo os formatos mais utilizados as sapatas quadradas,

retangulares e corridas. Segundo Hachich et. al (1998), em cálculos geotécnicos, uma sapata é considerada retangular quando o maior lado é menor que cinco vezes o menor lado ($L \leq 5B$).

3.5.1.2 Sapatas Isoladas

Segundo Hachich et al (1198) as sapatas isoladas são caracterizadas por uma placa de concreto armado, com uma base que pode ser quadrada, retangular ou circular e é tipo mais frequentemente utilizado. Esse tipo de sapata é usado quando as cargas transmitidas pela superestrutura são pontuais ou concentradas, como acontece com as cargas de pilares e as reações de vigas na fundação (vigas baldrame), por exemplo. A Figura 12, exposta no item anterior, é uma boa ilustração deste elemento e como o mesmo transmite ao solo ou a rocha as cargas provenientes de parte da edificação.

3.5.1.3 Sapatas Rígidas

Sapatas rígidas se utilizam do mesmo conceito já abordado de transferência de tensões de compressão e flexo-compressão ao solo de base e possuem altura suficiente para suportarem as tensões de tração, internas ao concreto, sem necessitarem de armadura para este fim. São caracterizadas pela altura da base e sua extensão em forma de pirâmide, formando um ângulo, da biela mais inclinada com a horizontal, maior que 30°. PINHEIRO (2013).

Conforme a NBR 6118-2014, não é possível a ocorrência de punção nesse tipo de sapata, e o modelo de cálculo que deve ser usado para dimensioná-las é o modelo de bielas e tirantes. São utilizadas inclusive para fundação de prédios de médio porte, entre 5 e 15 pavimentos, quando assentes sobre algum tipo de rocha.

3.5.1.4 Sapatas Flexíveis

São infraestruturas usadas em fundações sujeitas a pequenas cargas. ANDRADE (1989) sugere a utilização de sapatas flexíveis para solos com pressão admissível abaixo de 0,15 MPa.

Apresentam o comportamento estrutural de uma peça fletida, trabalhando à flexão nas duas direções ortogonais, portanto são dimensionadas ao momento fletor e à força cortante. De acordo ALVA (2007), esses tipos de sapatas são mais raros de serem usados, pois são empregados sob a ação de cargas de menor intensidade e solos relativamente frágeis.

3.5.2 Fundações Profundas

Segundo a NBR 6122/2010, Fundação profunda trata de um elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m.

Rebello (2008) classifica as fundações profundas como fundações moldadas in loco e pré-moldadas. Para as fundações moldadas in loco, é realizado com equipamento próprio um furo no solo, que em seguida é preenchido com concreto, que poderá ser ou não armado, dependendo da necessidade. Já nas fundações pré-moldadas, o elemento de fundação é executado na indústria, sendo em seguida cravado no solo por um equipamento adequado, o bate-estaca.

3.5.2.1 Tubulões

Caputo (2008) explica que tubulões são fundações construídas concretando-se um poço aberto no terreno ou fazendo descer, por escavação interna, um tubo, geralmente de concreto armado ou de aço, que é posteriormente cheio com concreto simples ou armado. No caso de revestimento com tubo metálico, este poderá, ou não, ser recuperado.

De acordo com a NBR 6122, esse tipo de fundação profunda deve ser utilizado acima do lençol freático, ou mesmo abaixo dele, desde que não haja o risco de desmoronamento, que o solo se mantenha estável e que seja capaz de controlar a água do interior do tubulão, respeitando sempre às Normas de Segurança, em especial, a Portaria 3 215 do Ministério do Trabalho e Emprego - NR 18.

Tal como as sapatas, diferindo-se com a profundidade de assente, os tubulões também resistem às ações da estrutura, transferidas pelos pilares, dissipando as cargas em uma área definida do solo ou da rocha sob ele. As cargas pontuais são convertidas em cargas distribuídas ao longo de todo o elemento, fazendo assim com o que o solo seja capaz de suportar tal carga.

3.6 Ações permanentes e variáveis nas estruturas

Segundo Pinheiro (2003), A busca pela menor área possível da fundação, desde que a segurança estrutural seja totalmente garantida, é um objetivo da engenharia de cálculo, uma vez que construções possuem vários elementos de fundação e diminuir sua seção transversal significa diminuir custos da estrutura. A relação carga x área em planta depende, normalmente, das ações transmitidas à fundação e à resistência do solo ou rocha onde a fundação se apoia. Ainda Pinheiro (2003), ações são causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Na prática, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações, sendo as forças chamadas de ações diretas e as deformações, ações indiretas.

3.6.1. Ações Permanentes

Ocorrem ao longo de toda vida útil da edificação, com pouca ou nenhuma variação de intensidade ao longo do tempo. Corresponde principalmente ao peso da própria estrutura, separada em superestrutura (pilares, vigas, lajes, etc.) e infraestrutura (fundações).

Pinheiro (2003) separa as ações permanentes da seguinte maneira: ações permanentes diretas – peso próprio da estrutura ou de elementos construtivos permanentes (paredes, pisos e revestimentos, por exemplo), peso dos

equipamentos fixos, empuxos de terra não-removíveis, etc. – e ações permanentes indiretas – retração, recalques de apoio, protensão.

3.6.2. Ações Variáveis

Como o próprio nome já aponta, esta carga varia ao longo da vida da estrutura e corresponde, principalmente, à carga de utilização, ou seja, o motivo de ser da estrutura: As pessoas, móveis, equipamentos, etc. Novamente Pinheiro (2003) enfatiza: As ações variáveis podem ser fixas ou móveis, estáticas ou dinâmicas, pouco variáveis ou muito variáveis. São exemplos: cargas de uso (pessoas, mobiliário, veículos etc.) e seus efeitos (frenagem, impacto, força centrífuga), vento, variação de temperatura, empuxos de água alguns casos de abalo sísmico.

3.6.3. Ações excepcionais

Estas ocorrem raramente durante a vida útil da edificação, mas em alguns casos elas devem ser consideradas. São exemplos as explosões, colisões de veículos, enchentes, etc. NBR 6120/2019.

3.7 Carregamentos

O conjunto de ações que agem em uma estrutura ou que descarregam em uma parte dela é chamado de carregamento. É possível separá-los da seguinte maneira:

- Carregamentos normais: Decorrem do uso previsto para a edificação, referem-se à somatória das ações permanentes mais as ações variáveis;
- Carregamentos especiais: São efeitos transitórios como, por exemplo, a ação do vento. Devem ser previstos no dimensionamento da estrutura.
- Carregamentos excepcionais: São de natureza mais efêmera, porém podem incorrer em grandes catástrofes. Estes carregamentos devem ser estudados na fase de pré-projeto e evitados com medidas extras ao projeto estrutural.

3.8 Vinculações

A estrutura de uma edificação tem ligações entre os elementos isolados da mesma e é definido em cálculo. Existem ligações rígidas e ligações rotuladas. As ligações rígidas transferem esforços de várias naturezas, tais como os esforços normais e os esforços de flexão e rotação. Ligações rotuladas transmitem aos elementos adjacentes apenas os esforços normais. RABELLO (2008).

As fundações rasas, como a sapata, normalmente têm sua ligação rotulada com o pilar que nela descarrega. Porém, mesmo nestes casos, à favor da segurança, é considerada uma ligação semirrígida, onde além dos esforços normais são transferidos também parte do momento fletor atuante no pilar. RABELLO (2008).

3.9 Normativas em Vigor para Fundações

No Brasil a normativa que rege o cálculo de estruturas de fundações é a NBR 6122/2019. De acordo com esta mesma norma, a resistência última de uma fundação pode ser determinada pelo método de valores de cálculo, onde as tensões características de ruptura minoradas por um coeficiente de ponderação e as ações majoradas por um coeficiente de ponderação.

As ponderações levam aos valores admissíveis de tensão na fundação, seja ela solo ou rocha, conforme a classificação da NBR 6122/2019:

- Tensão admissível: máxima tensão que, aplicada ao terreno pela fundação rasa ou pela base de tubulão, atende, com fatores de segurança predeterminados, aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalques, vibrações etc.);
- Tensão de ruptura de uma fundação: Tensão que, se aplicada pela fundação ao terreno, provoca perda do equilíbrio estático ou deslocamentos que comprometem sua segurança ou desempenho; corresponde à tensão resistente última (geotécnica) da fundação;

- Tensão de trabalho de sapatas ou bases de tubulões: Tensão efetivamente atuante no terreno sob essas fundações, em valores característicos
- Tensão resistente de cálculo: Valor de tensão resultante da divisão do valor característico da tensão de ruptura geotécnica pelo coeficiente de ponderação (redução, no caso) da resistência última.

3.10 Determinação da Área em Planta da “Sapata”

Como já foi exposto, a fundação rasa denominada de “sapata” é dimensionada em função da resistência do solo/rocha em que a mesma se assenta, de modo que sua área em planta será menor quando a resistência do solo/rocha de suporte for maior. O cálculo da área da “sapata” obedece aos requisitos da NBR 6122 da ABNT, conforme a Equação (1):

$$A = \frac{(P + pp)}{\sigma_s} + \frac{M}{I} \bar{y} \quad (1)$$

Sendo:

P= carga transmitida à fundação pelo pilar que a mesma o suporta

pp= refere-se ao peso próprio da sapata

σ_s = tensão de compressão resistente do solo/rocha de suporte

M= momento fletor transferido do pilar para a fundação

I= o momento de inércia da fundação

\bar{y} = centro geométrico da mesma.

Como o peso próprio não pode ser calculado antes do dimensionamento da sapata, como é corriqueiro na Engenharia Civil, Bastos (2016) admite que valores empíricos baseados nas observações práticas permitam estimar o peso próprio da seguinte forma: 5% da carga transmitida à fundação pelo pilar em caso de sapatas flexíveis e 10% da carga transmitida à fundação pelo pilar se a sapata for considerada rígida.

As sapatas são classificadas quanto a sua rigidez usando a Equação (2), se obedecer à relação abaixo, é considerada rígida, se não flexível:

$$h \geq \frac{(a-a_p)}{3} \quad (2)$$

Sendo:

a= dimensão em planta da sapata;

a_p = dimensão em planta do pilar.

Segundo Leonhardt (2007) o momento fletor pode ser considerado ou não por opção do calculista, uma vez que o mesmo poderá considerar a ligação entre o pilar e a fundação plenamente rotulada, ou seja, sem nenhuma rigidez capaz de propagar o momento fletor. Comumente é usado transferir, à favor da segurança, o momento fletor mínimo utilizado no cálculo dos pilares de concreto armado, segundo o preconizado na NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. O valor do momento fletor mínimo de cálculo pode ser quantificado na Equação (3):

$$M_{mín} = (1,5 \text{ cm} + 0,03 * h) \quad (3)$$

Sendo:

h = dimensão considerada na análise do pilar que descarrega na fundação.

Para dar continuidade neste trabalho serão analisados em laboratório os testemunhos extraídos na cidade de Uberaba MG.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de Retirada das amostras

Este trabalho trata-se de uma pesquisa de natureza experimental. Os testemunhos utilizados na caracterização tecnológica, determinação dos índices físicos e determinação das tensões de fratura e de ruptura (tensão última) foram retirados de dois pontos distintos da cidade de Uberaba, apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2, respectivamente.

4.1.1 Primeira Amostragem

A primeira amostragem foi retirada no dia 19/04/2021, em uma obra de um prédio escolar com 5 lajes cujo o cálculo estrutural foi feito pelo próprio autor deste trabalho. Tal terreno a ser edificado localiza-se à rua Joana Maria de Jesus, 660, no bairro Vila Esperança II, Uberaba - Mg. No local foram colhidos 6 corpos de prova – testemunhos – que foram encaminhados para devido tratamento no laboratório de materiais de construção civil da Universidade de Uberaba – Uniube. A furação do poço artesiano determinou que a espessura da camada de esteatita é em média 10 metros, e sob esta, basalto.

Estas primeiras amostras têm coloração mais esverdeada e se encontrava úmida por coincidir com o nível do lençol freático. Foi necessário escavar o solo com uma retroescavadeira para alcançar a formação rochosa que estava à aproximadamente 1,80 m de profundidade.

As ferramentas e maquinários utilizados para retirada dos testemunhos foram:

- “Serra Copo”;
- Marteleto de 6 kg;
- Retroescavadeira.

A localização do terreno onde as amostras foram retiradas é visto na Figura 13.

Figura 13: Localização do terreno onde será executado a obra e local da retirada.



Fonte: Google Maps (2021).

É possível observar a coloração da rocha, no fundo da vala de cava, na Figura 14.

Figura 14: Coloração da rocha esverdeada e valas abertas para retirada dos testemunhos.



Fonte: Autor (2021).

Um detalhe mais aproximado da coloração da amostra evidenciada na figura 15:

Figura 15: Coloração esverdeada da amostra.



Fonte: Autor (2021).

4.1.2 Segunda Amostragem

A segunda amostragem, por sua vez, foi retirada do local onde futuramente será construído um viaduto sobre o córrego existente. Estas amostras estavam expostas na “flor” do solo e possuem coloração mais amarronzada. O endereço da coleta é no final da avenida Joaquim Borges de Assunção, no bairro Alfredo Freire, também na cidade de Uberaba –MG. Neste caso não foi possível determinar a espessura da camada de esteatita.

A localização do terreno onde foram retiradas as amostras é apresentada na figura 16.

pontos distintos na cidade de Uberaba MG seguem o escopo da NBR 15845-2 - Rochas para revestimento - Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água, para rochas cuja destinação é para materiais de revestimento de edificações.

Os equipamentos necessários para execução do ensaio foram:

a) estufa, capaz de manter a temperatura em 110°C, modelo ALB 500 ES, marca INBRÁS. Figura 18:

Figura 18: Estufa para secagem das amostras.



Fonte: Autor (2021).

b) balança, com capacidade de 1000 g e resolução de 0,01 g, modelo AD2000, marca Marte. A balança utilizada pode ser vista na Figura 19:

Figura 19: Balança de precisão.



Fonte: Autor (2021).

c) bandejas de alumínio.

Para se realizar o ensaio deve-se seguir o procedimento:

- 1) lavar os corpos de prova em água corrente e escová-los com escovas com cerdas macias;
- 2) colocar os corpos de prova na bandeja e adicionar água até 1/3 da altura dos corpos de prova, após 4 horas adicionar até 2/3 da altura dos corpos de prova, após mais 4 horas completar a submersão dos corpos de prova e deixar o tempo total de 24 horas;
- 3) pesar os corpos de prova individualmente e, na condição submersa, anotar massa " M_{sub} ";
- 4) retirar os corpos de prova da imersão, secá-los com um pano levemente úmido, pesá-los individualmente e anotar massa " M_{sat} ";
- 5) colocar os corpos de prova em estufa com ventilação mecânica e deixar secar por 24 h;
- 6) retirar os corpos de prova da estufa e deixar resfriar a temperatura ambiente;
- 7) pesar e anotar massa de " M_{sec} ";

Os cálculos são de acordo com as seguintes expressões:

a) Densidade Aparente em kg / m³, conforme Equação (4):

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} * 1000 \quad (4)$$

b) porosidade aparente, em percentual, conforme Equação (5):

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} * 100 \quad (5)$$

b) porosidade aparente, também em percentual, conforme Equação (6):

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} * 100 \quad (6)$$

4.3 Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial à Primeira Fratura e ao ELU

Para este ensaio, que visa determinar a resistência à compressão uniaxial de rochas, foi feita uma adequação à realidade do experimento, que se refere à altura dos corpos de prova/testemunhos. Conforme escopo que segue, à relação da altura com o diâmetro deve ser de 1:1, porém neste experimento, devido à dificuldade da retirada dos mesmos com a utilização da ferramenta intitulada “serra copo” acoplada a um marteleto de 6 kg, os 6 corpos de prova possuíam relação altura com o diâmetro de 1,0:0,5. Porém as demais instruções normativas foram seguidas a rigor. As amostras, segundo o padrão geométrico exposto, podem ser observadas na Figura 20:

Figura 20: Testemunho a ser rompido.



Fonte: Autor (2021).

Este experimento é regulamentado pela norma NBR 15845-2 - Rochas para revestimento da ABNT, cujo título é: Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial.

Segundo a norma acima, os procedimentos para análise seguem descritos a seguir:

Os corpos de provas devem ter a forma cúbica, com dimensões de 7,0 cm e 7,5 cm, ou cilíndrica 7,0 cm e 7,5 cm. Os ângulos formados entre as duas faces consecutivas devem ser de $(90 \pm 3)^\circ$.

A aparelhagem necessária para a realização do ensaio é uma prensa com capacidade de, no mínimo, 1000 kN e divisões de 2 kN; deve dispor de um prato inferior rígido e outro, oposto a ele, suspenso na cabeça da prensa e munido de rótula para permitir pleno contato com o topo do corpo de prova, o aparelho de teste deve dispor ainda de sistema de aplicação de carga que permita um carregamento contínuo e progressivo.

Para a execução do ensaio, coloca-se o corpo de prova no centro do prato inferior da prensa, movimenta-se o superior até obter ajuste dos mesmos com o corpo de prova.

Após este procedimento aplica-se cargas, de modo contínuo e progressivo, à uma taxa de aproximadamente 0,6 MPa/s, até que ocorrerá a ruptura do corpo de prova.

Os resultados são colhidos em duas etapas:

- Tensão necessária ao aparecimento da primeira trinca – Tensão de fratura;
- Tensão última de ruptura do corpo de prova

As tensões de ruptura são obtidas com o uso da Equação (7):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (7)$$

4.4 Método para Dimensionamento das Sapatas

Neste trabalho considerar-se-á as seguintes métricas que são mais comuns a edificações residenciais de até 3 pavimentos:

- Cargas transmitidas à “sapata” pelo pilar: 100, 200, 300 e 400 kN;
- Peso próprio da sapata flexível: 10% da carga do pilar;
- Área em planta do pilar retangular, com seção transversal de: 20 cm x 20 cm;
- Momento fletor transmitido à fundação: 2,1 kN.cm
- Coeficiente de minoração da capacidade resistente do esteatito: 3 (NBR 6122/2019)

- Seção transversal mínima de 0,6 m x 0,6 m e área em planta mínima igual a 0,36 m²

Será considerado para o cálculo apenas a menor tensão de fratura das amostras, URA 1 e URA 2.

A partir desses valores descritos será elaborada uma tabela correlacionando as dimensões da sapata com a resistência média à compressão das rocha esteatitas coletadas de dois pontos distintos da cidade de Uberaba–MG.

4.5 Modelo Matemático

A correlação entre a resistência a compressão, que é o índice mais importante desse trabalho, e o valor da porosidade aparente, passa pelo tratamento dos dados empíricos admitindo o erro estatístico. Para tanto, utilizar-se-á de Regressão pelo método dos Mínimos Quadrados. Este método parte do erro quadrático Δy pelo valor aproximado correspondente $f(t)$, conforme a Equação (8):

$$\Delta y^2 = (y_i - f(t_i))^2 \quad (8)$$

Este trabalho recai em dois parâmetros de ajuste (β_1 e β_2) como fatores multiplicadores que independem das variáveis, y_i e $f(t_i)$, envolvidas, e duas funções analíticas, μ_1 e μ_2 , compondo a função de ajuste, $f(t)$, onde a soma dos quadrados dos erros envolvidos será como apresentado na Equação (9):

$$S_{(\beta)} = \sum_{i=1}^n [i_1 - \beta_1 \mu_1(t) - \beta_2 \mu_2(t)]^2 \quad (9)$$

Partindo do princípio que cada valor coletado tem a mesma relevância dos demais obter-se-á uma curva que dê representatividade ao conjunto de valores de resistências em função da idade minimizando o erro médio quadrático cometido ao substituímos y_i por $f(t_i)$. A condição matemática que permite minimizar o erro médio é a apresentada na Equação (10).

$$\frac{\partial}{\partial \beta_1} S = \frac{\partial}{\partial \beta_2} S = 0 \quad (10)$$

Deste modo, a função de ajuste é expressa por uma função polinomial,

conforme Equação (11):

$$y = ax^2 + bx + c \quad (11)$$

Segundo Martins (2014) o Coeficiente de correlação amostral de Pearson, representado por r , é uma medida da direção e grau com que duas variáveis, de tipo quantitativo, se associam linearmente.

Costa et al (2020) cita que como método de avaliação da qualidade do ajuste, utiliza-se o coeficiente de determinação a partir da relação entre a soma dos quadrados devido ao ajuste e a soma dos quadrados totais, R^2 , que representa a dimensão da variação total dos dados em torno da média dos valores da variável dependente. Este método pode avaliar o quão preciso é o modelo na iminência de explicar a variável y_i . Veja Equação (12):

$$R^2 = \left(\frac{\sum X.Y - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right]}} \right)^2 \quad (12)$$

Adotou-se como critério de comparação o erro residual (RSE) padrão que é a medida de erro da estimativa do modelo de regressão representado pela Equação 13.

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}} \quad (13)$$

No intuito de investigar a correlação entre a resistência a compressão e o valor da porosidade aparente foi utilizado o Microsoft Excel para delineamento dos gráficos e obtenção dos coeficientes dos mínimos quadrados (MMQ).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resistência à Compressão

A partir dos materiais coletados, das referências teóricas e dos resultados obtidos no laboratório da Universidade de Uberaba – UNIUBE permite-se apresentar e discutir algumas problemáticas que são apresentadas abaixo:

Segundo Bastos (2016), comumente o calculista solicita a ruptura dos testemunhos para determinação do grau de resistência à compressão simples, uma vez que esta resistência é a mais importante na determinação da tensão admissível do maciço rochoso.

Como já havia sido discutido neste trabalho, o procedimento utilizado para dimensionamento das fundações, assentes sobre rochas, segundo Antoniazzi(2010) ainda é usual admitir os apoios de uma estrutura de edifício como indeslocáveis na análise estrutural. Deste modo a hipótese de apoios indeslocáveis significaria, por exemplo, a total restrição ao recalque e ao giro nas duas direções ortogonais nas extremidades dos pilares, o que representa bem a interação entre a fundação e a rocha deste estudo.

Em Uberaba MG, na data de 13/04/2021 o valor médio de cada furo de sondagem em Trado Rotativo custava R\$ 2000,00 para locação do equipamento + R\$ 1000,00 o metro perfurado. O mínimo de sondagens admitidas em um terreno a ser edificado, que por ausência de recomendação na norma específica NBR 9603/1986, obedece ao mínimo de 3 sondagens segundo a NBR 6484/2001.

Neste trabalho as rupturas dos testemunhos foram feitas em duas etapas, a primeira leitura se refere à tensão responsável pela abertura de trincas – primeira fratura e a segunda leitura refere-se à tensão última, ou seja, a tensão que leva a amostra ao esmagamento.

Para fim de comparação acerca das diferentes resistências à compressão dos esteatitos, dependendo da área de localização, serão comparados os valores de

tensão última encontrados através da ruptura dos testemunhos retirados dos dois pontos da cidade de Uberaba, URA 1 e URA 2 e dos corpos de prova retirados na região do Quadrilátero Ferrífero cujo estudo foi apresentado por Maciel (2002) ao Instituto de Geociências – IGC da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. As cidades em que se retiraram os são: Santa Rita Patrimônio (SRP), Santa Rita Sancha (SRS), ambas localizadas no distrito de Santa Rita de Ouro Preto e as minas Acaiaca-Acaiaca (AA), localizada na cidade de mesmo nome e Furquim-Furquim (FF), situada na localidade de Furquim, distrito de Mariana-MG.

Os resultados obtidos, em Mpa, são apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Resistências últimas dos testemunhos estudados neste trabalho e por Maciel (2002).

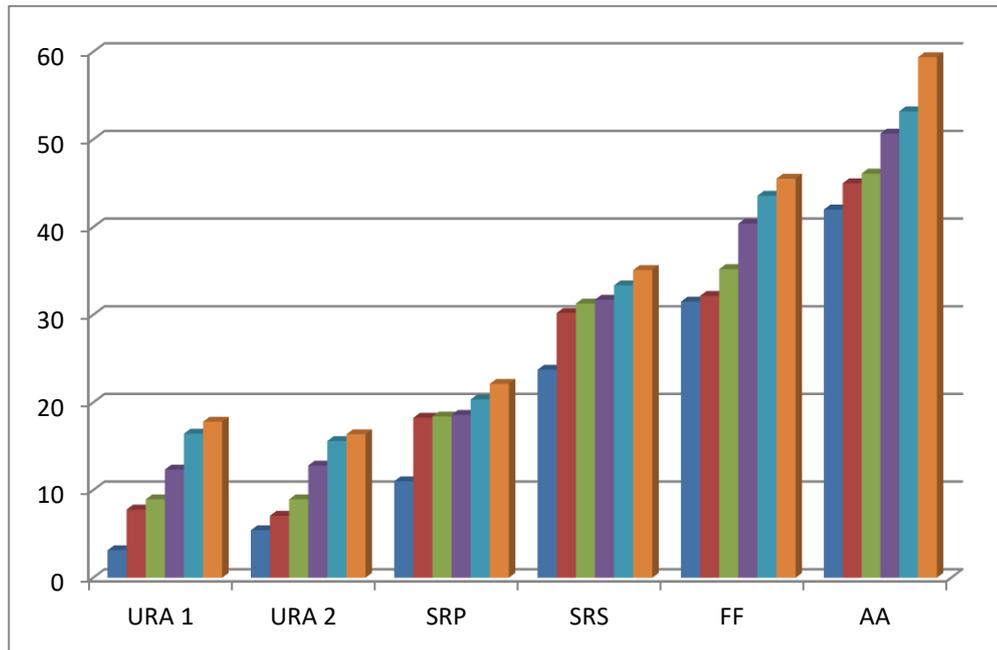
URA 1 MPa	URA 2 MPa	SRP MPa	SRS MPa	FF MPa	AA MPa
3,14	5,42	11,01	23,73	31,50	42,02
7,78	7,07	18,25	30,21	32,16	45,00
8,98	8,95	18,40	31,28	35,21	46,11
12,34	12,8	18,58	31,72	40,41	50,67
16,44	15,6	20,35	33,36	43,58	53,21
17,80	16,37	22,12	35,10	45,53	59,39

Fonte: Autor (2021).

Observa-se na Tabela 6 que as tensões últimas de ruptura são menores nas amostras retiradas na cidade de Uberaba, sendo as menores delas as tensões suportadas pelas amostras de coloração mais esverdeada retiradas no bairro Vila Esperança II.

O gráfico a seguir (Figura 21) ilustra com clareza as diferenças das tensões últimas, em MPa.

Figura 21: Resistências últimas dos testemunhos deste trabalho e de Macie I(2002), em Mpa



Fonte: Autor (2021).

A partir dos dados coletados e da metodologia de leitura da prensa também é possível verificar, através da Tabela 7 para URA1, a relação entre a tensão que causou a primeira fratura (RT) com a tensão última (RU).

Tabela 7: Relações entre tensões de ruptura e primeira fratura, em MPa, URA 1.

URA 1 MPa	URA 1 MPa	RU/RT MPa
2,39	3,14	1,31
4,5	12,34	2,74
4,83	8,95	1,85
5,74	16,44	2,86
6,53	17,8	2,73
7,78	7,78	1,00

Fonte: Autor (2021).

Analogamente, na Tabela 8, para URA 2:

Tabela 8: Relações entre tensões de ruptura e primeira fratura, em MPa, URA 2.

URA 2	ura 2	RU/RT
MPa	MPa	MPa
2,85	5,42	1,90
3,8	12,8	3,37
4,86	8,95	1,84
5,32	15,6	2,93
7,07	7,07	1,00
8,7	16,37	1,88

Fonte: Autor (2021).

Como é possível observar nas Tabelas 7 e 8 não há uma correlação direta entre a tensão de primeira fratura e a tensão última.

5.2 Índices Físicos para os Esteatitos

É possível correlacionar os valores dos índices físicos, tais como absorção d'água e a porosidade com a resistência mecânica da rocha, pois fornecem dados quanto à estruturação interna da rocha da rocha.

Segundo Maciel (2002): Se a rocha possui densidade baixa também terá uma baixa resistência mecânica enquanto que altos valores de absorção d'água das rochas levarão à uma expectativa de baixa durabilidade e progressiva redução da resistência mecânica com o decorrer do tempo.

Os ensaios realizados seguem o escopo da NBR 15845-2 - Rochas para revestimento - Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água, para rochas cuja destinação é para materiais de revestimento de edificações. Os valores calculados a partir do ensaio supracitado são demonstrados na Tabela 9 para URA1:

Tabela 9: Índices físicos das amostras URA 1.

AMOSTRAS	DENSIDADE		
	APARENTE (kg/m ³)	POROSIDADE (%)	ABSORÇÃO (%)
1	1800,98	26,10	14,49
2	1847,39	26,18	14,17
3	1614,38	22,95	14,22
4	1847,32	25,80	13,97
5	1786,44	24,90	13,94
6	1835,28	18,15	9,89

Fonte: Autor (2021).

De maneira análoga, a Tabela 10 demonstra os resultados calculados e para URA 2:

Tabela 10: Índices físicos das amostras URA 2.

AMOSTRAS	DENSIDADE		
	APARENTE (kg/m ³)	POROSIDADE (%)	ABSORÇÃO (%)
1	1985,21	12,43	6,26
2	1655,56	24,84	15,00
3	1834,52	22,00	11,99
4	1719,21	26,59	15,47
5	1992,71	14,58	7,32
6	1891,74	17,17	9,07

Fonte: Autor (2021).

Como é possível observar nas Tabelas 9 e 10 não há uma correlação direta entre as duas amostras coletadas em pontos diferentes da cidade de Uberaba.

5.3 Modelos Matemáticos

A correlação entre a resistência a compressão e o valor da absorção d'água depende do tratamento dos dados empíricos admitindo o erro estatístico. O método utilizado foi de Regressão pelo método dos Mínimos Quadrados.

Deste modo, tabelando os 12 valores, 6 para cada local de retirada das amostras, temos os modelos matemáticos para URA 1 e URA 2 plotados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente:

Tabela 11: Estudo comparativo entre ajustes estatísticos para determinação da resistência à compressão em função da absorção de água, URA 1.

Função	Modelos ajustados	Coefficiente de determinação
polinomial	$y = -4,463x^2 + 105,4x - 588,8$	$R^2 = 0,945$
linear	$y = -2,144x + 39,91$	$R^2 = 0,459$
logarítmica	$y = -25 \ln(x) + 76,05$	$R^2 = 0,442$
exponencial	$y = 155,1^{-0,2x}$	$R^2 = 0,323$

Fonte: Autor (2021).

De maneira análoga, os modelos matemáticos para URA 2.

Tabela 12: Estudo comparativo entre ajustes estatísticos para determinação da resistência à compressão em função da absorção de água, URA 2.

Função	Modelos ajustados	Coefficiente de determinação
polinomial	$y = -0,024x^2 - 1,529x + 23,66$	$R^2 = 0,979$
linear	$y = -0,990x + 21,11$	$R^2 = 0,975$
logarítmica	$y = -10 \ln(x) + 33,46$	$R^2 = 0,968$
exponencial	$y = 29,19^{-0,1x}$	$R^2 = 0,978$

Fonte: Autor (2021).

De acordo com os dados e os modelos matemáticos é possível observar que os melhores coeficientes de determinação são aqueles em que as funções são do tipo polinomial do segundo grau, conforme a Tabela 13.

Tabela 13: Modelos ajustados para determinação da resistência à compressão em função da absorção de água, URA 1 e URA 2.

URA	Coloração	Modelos ajustados	Coefficiente de determinação
1	Esverdeada	$y = -4,463x^2 + 105,4x - 588,8$	$R^2 = 0,945$
2	Amarronzada	$y = 0,024x^2 - 1,529x + 23,66$	$R^2 = 0,979$

Fonte: Autor (2021).

Sem o uso dos modelos matemáticos, grande parte destas pesquisas só obteriam resultados significantes a longo prazo e com grande demanda de recursos.(HANKS; RITCHIE, 1991; JONES; KINIRY, 1986). Deste modo, mesmo que com uma aplicação limitada, os modelos matemáticos sugeridos servem para nortear o engenheiro calculista para tomadas de decisão.

5.4 Dimensionamento da Fundação “Sapata” em Função da Resistência a Fratura da Rocha.

O objetivo destes resultados é nortear o engenheiro calculista nas tomadas de decisão, comparando a mesma com o laudo de sondagem e também serve para a elaboração de orçamentos, pois estes são feitos muitas vezes antes mesmo de os projetos complementares estarem prontos.

As cargas estudadas, 100 kN, 200 kN, 300 kN e 400 kN, são razoavelmente comuns para edificações de até 3 pavimentos. Os valores de cargas transmitidas dos pilares mais carregados obtidos na prática não são exatos como estes propostos, porém normalmente estão dentro destes limites: Entre 100 kN e 400 kN.

As áreas em planta das sapatas foram calculadas para os menores valores de Tensão necessária ao aparecimento da primeira trinca – Tensão de fratura, e respeitando a área mínima exigida pela NBR 6122/2019. O coeficiente de minoração da resistência da rocha de fundação é igual a 3. Os resultados são observados na Tabela 14:

Tabela 14: Área da sapata para várias cargas transmitidas, URA 1 e URA 2.

Amostra	Coloração	Tensão de fratura (Mpa)	Área da sapata (m ²) 100 kN	Área da sapata (m ²) 200 kN	Área da sapata (m ²) 300 kN	Área da sapata (m ²) 400 kN
URA 1	Esverdeada	2,39	0,36	0,36	0,49	0,64
URA 2	Amarronzada	2,85	0,36	0,36	0,36	0,49

Fonte: Autor (2021).

Conclui-se que, para as tensões de fratura das amostras estudadas, superiores às apresentadas na Tabela 14, a área em planta das sapatas, para as cargas estudadas, são menores que os valores mínimos exigidos na NBR6122/2019. Deste modo, despreza-se o cálculo e usa-se os valores mínimos. Segundo o item 7.7.1 – Dimensões mínimas, em planta, as sapatas isoladas ou blocos não podem ter dimensão inferior a 60 cm.

6 CONCLUSÃO

Os índices calculados e a medição dos valores das tensões observadas permitem algumas conclusões sobre a resistência mecânica da rocha esteatita como suporte para fundações rasas assentes sobre ela.

As tensões resistentes do esteatito ao fraturamento são baixas em comparação às demais rochas magmáticas, conforme a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, ISRM (1978) que aponta valores referenciais para o estudo da resistência de rochas, mas ainda sim apresenta valores de resistência bem maiores que qualquer classe de solo uma vez que o ensaio de penetração não é capaz de vazá-lo.

Houve relação entre a resistência última à compressão e o valor da absorção d'água, e, portanto, entende-se que o engenheiro de fundações possa verificar, nas regiões estudadas, a absorção d'água, uma vez que é um teste simples e não exige aparatos tecnológicos, e a partir desta, determinar a resistência média da tensão última destes minerais.

Foi possível concluir, a partir dos cálculos executados, que para cargas de fundações de baixa intensidade, tais como as cargas de pequenas edificações, de até 200 KN, a área da fundação rasa, sapata, é menor que o valor mínimo exigido pela NBR 6122/2019 no item 6.4.1, o que serve para corroborar com a conclusão que a mesma oferece resistência superior, na ordem de 4 vezes, com relação ao solo que mais resiste à golpes no ensaio de sondagem por penetração, 50 golpes.

Sugere-se, para trabalhos futuros, que sejam investigados mais pontos com presença de esteatita e que seja averiguado o índice de qualidade da rocha – RQD - para que o mesmo seja comparado com a resistência à compressão, de modo a permitir a tentativa de correlação matemática entre estes dois índices.

Sugere-se, também, que em trabalhos futuros sejam avaliados os minerais do grupo talco da cidade de Uberaba, quanto a sua composição química e a relevância na agroindústria local.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.R.L. **Fundações, blocos e vigas de transição**. São Carlos, EESC/USP. Notas de aula, Estruturas Correntes de Concreto Armado, 4ª parte, 1989.

ALMEIDA, F. F. M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**,v.7 n.(4). p.349 - 364.

ALVA, Gerson M. S. **Estruturas de Concreto - Projeto estrutural de sapatas**. Departamento de Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 14junh. 2021.

ALVES, H. J.; RIELLA, H. G.; SILVEIRA, R. Utilização da Rocha Algamatolito na Formulação de Aditivos para o tratamento Superficial de Grês Porcelanato. **Cerâmica Industrial**. , v.10, p.01 - 05, 2006.

AMARAL, R. Q. - **Talco e pirofilita** - p. 482 - 492 -Disponível <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-5-2013-talco-pirofilita>>Acesso em: 10junh. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos. Procedimento. **NBR 5739** Rio de Janeiro, 2015, 9 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. **NBR 6118** - Rio de Janeiro, 2014, 238 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cargas para cálculo de estruturas. **NBR 6120** -Rio de Janeiro, 2019, 60 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de fundações. **NBR 6122** - Rio de Janeiro, 2010, 108 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Parte 2. Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. **NBR 15845-2** Rio de Janeiro, 2015, 4 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Parte 5. Determinação da resistência à compressão uniaxial. **NBR 15845-5** -Rio de Janeiro, 2015, 4 páginas.

ANTONIAZZI, J. P.; ALVA, G. ; SOARES, J. M. D. . Procedimento para a consideração da interação solo-estrutura em edifícios com fundações em sapatas isoladas. In: **52º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010, Fortaleza - CE. Novas tecnologias do concreto para o crescimento sustentável**. Fortaleza - CE: Pouchain Ramos, 2010. p. 370-370.

AZEVEDO, H.C.A. de; Costa, P. H. de O. 1994. **Catálogo de Rochas Ornamentais da Bahia- Brasil**. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação. Notas de aula**. Bauru, 2015, Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BARATA, M. 1941. **A Arquitetura Religiosa Barroca no Brasil. Germain Bazin Estudo Histórico e Morfológico**. Editora: Record, 1.

BARBOSA, G. V. & RODRIGUES, D. M. S. 1968. **Contribuições recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero**. Apostila da UFMG. Bol. Mineiro de Geografia. 10 e 11, Belo Horizonte -MG.

BRADY, J.B. 1977. Metasomatic zones in metamorphic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41 (1): 113-125.

CAMPOS, J.C. **Elementos de fundações em concreto**. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2015, 542p.

CARNEIRO, M. A. **O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano.** Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 258. 1992.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6 ed. São Paulo: LTC. 1996. 234 p.

COSTA, A. G.; CAMPELLO, M. S.; PIMENTA, V. B. Rochas ornamentais e de revestimento de Minas Gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil. **Geonomos**, v. 8, n. 1, p. 9-13, 2000.

COSTA, A.G.; OLIVEIRA, S.F.de; MELO, E.L.; FREITAS, J. R.L.de. 1998. Caracterização de quartzitos mineiros e suas aplicações no setor das rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, **Anais...**Belo Horizonte, SBG 1, p.307.

COSTA, K. R. ; LIMA, A. D. ; ASSIS, L. C. . Ajustes de modelos empíricos para determinação do ganho de resistência à compressão do concreto em função da idade. In:**IV Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais - EDEPA**, 2020, Uberaba. IV Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais - EDEPA. Uberaba: Uniube, 2020.

EVANS, B.W.; TROMMSDORF, V. 1982. Regional metamorphicofultramafic rocks in the Central Alps: paragenesis in the system $\text{CaO}+\text{MgOSiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Schweiz. Mineral Petrogr. **Mitt**, 50: 481-492.

FONSECA, G. M. **Petrogênese de rochas ultramáficas do quadrilátero ferrífero e adjacências e sua relação genética com rochas metaultramáficas do tipo serpentinito e esteatito.** Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 87 f. 2011.

Greenme Brasil. **Pedra-sabão: o que é, como usar e onde comprar.** Disponível em: <<https://www.greenmebrasil.com/morar/faca-voce-mesmo/8064-pedra-sabao-o-que-e-como-usar-onde-comprar/>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

Hachich, W. C., Falconi, F. F., Saes, J., Frota, R. G. Q., Carvalho, C. S., & Niyama, S. **Fundações: Teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 751 p.

HANKS, R. J.; RITCHIE, J. T. Modelling plants and soil systems. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Inc/Soil Science Society of America, 1991. 387 p. (**Agronomy, 31**)

ISRM. 1978. **Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock material.** In: Intern. Journal. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 16 páginas.

JONES, C. A.; KINIRY, J. R. **CERES-MAIZE model: a simulation model of maize growth and development.** Texas: A & M University Press, 1986. 194p.

LIMA, A. D. de. **Otimização do aproveitamento do palhiço da cana-de-açúcar.** 2009. xv, 76 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2009.

LIPPMANN, O. C. Caracterização de particulado em artesanato em pedra-sabão na região de Mata dos Palmitos, Ouro Preto, MG. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto.** In: Casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado, v. 2. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 1982.

KORZHINSKII, D.S. 1970. **Theory of Metassomatic Zoning.** London, Oxford University Press. 162 p. (Trad. J. Agrell).

MACIEL, L. S. **Caracterização tecnológica dos esteatitos da região de Santa Rita de Ouro Preto, Acaiaca e Furquim.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 89 p. 2002.

MARSHAK, S.; TINKHAM, D.; ALKMIM, F.F.; BRUECKNER, H.; Bornhorst. 1997. Dome- and - keel provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse - core complexes, diapirs, or neither?: Examples from the Quadrilátero Ferrífero and the Penokean orogen. **Geology**. 25 (5): 415-418.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 244 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM. **Produto 53 análise-síntese da transformação mineral no Brasil. Relatório Técnico 79 - Análise-síntese da transformação mineral no país.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/estudos-sobre-economia-e-o-setor-mineral-brasileiro/documentos/relatorio-ndeg4_evolucao-do-mercado-mineral-no-brasil-a-longo-prazo.pdf>. Acesso em: 23 de ago. 2021.

MONTE, M.B.L., TRIGUEIRO, F.E., PAIVA, P.R.P. **Série Rochas e Minerais Industriais. Técnicas e alternativas para a modificação do caulim.** Rio de Janeiro, p. 32, CETEM/MCT, 2003.

MOODY, J.B. 1976. Serpentinization: A review. **Lithos** 9: 125-38.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO S. N. A. **Geologia de Engenharia.** São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia / ABGE.(ed.)1998. 573p.

PINHEIRO, L.M. ; MUZARDO, C.D. ; SANTOS, S.P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003, 265p.

ROMANO, A.W.; ARAÚJO, C. **Agalmatolito e Talco**. Nota explicativa. In: Projeto Triângulo Mineiro, Belo Horizonte, 2015, CODEMIG – UFMG - CPMTC, 24 p. Disponível em: <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Agalmatolito.pdf>> Acesso em: 13 de set. 2021.

REBELLO, Yopanan. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. São Paulo: Zigurate, 2008. 240 p.

RODRIGUES, D.J. 1996. Conservation of granitic rocks with application to the megalithic monuments; conclusion report. In: Vicente, M. A.; Delgado-Rodrigues, J.; Acevedo, J. (Eds). **Degradation and conservation of granitic rocks in monuments**. Brussels: European Commission. 161 páginas.

SALAS, T. H.; COSTA da, L. C. A; BARBOSA, S. B. J.; SILVA da, C. L.; ROCHA, A. F. Estudo de esteatito para utilização como núcleo de resistor de alta densidade. In: International Nuclear Atlantic Conference, 2. Santos, SP. **Anais...** INAC 2005 Santos, SP, Brazil, August 28 to September . ISBN: 85-99141-01-5.

SILVA, M. E. da; HOESES, H. M. P. Mapeamento de deteriorações em monumentos históricos de pedra sabão em Ouro Preto. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.4, p. 331-338, 2003. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9792>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

TROMMSDORFF, V. EVANS, B. W. (1977) Antigorite-ophical carbonates: metamorfismo de contato em Valmalenco, Itália. **Mineralogia e Petrologia** , 62 (3). 301-312 doi:10.1007/bf00371017.

QUINTAES, K. D. A influência da composição do esteatito (pedra-sabão) na migração de minerais para os alimentos. **Cerâmica [on-line]**, São Paulo, v. 52, n. 324, 2006, p. 298-306

WICKS, F. J. ; WHITTAKER, E. J. W. 1977. Serpentinite textures and serpentinizations. **Can. Mineral.**, v. 15 : 450-488.