



Lucianna Szeliga

Estudo Experimental de um Solo Arenoso Estabilizado com Cinzas de Resíduo Sólido Urbano e Cal

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadora: Michéle Dal Toé Casagrande

Rio de Janeiro
Abril de 2014



Lucianna Szeliga

Estudo Experimental de um Solo Arenoso Estabilizado com Cinzas de Resíduo Sólido Urbano e Cal

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Michéle Dal Toé Casagrande

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Euripedes do Amaral Vargas Jr.

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Silvrano Adonias Dantas Neto

Universidade Federal do Ceará

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de Abril de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e da orientadora.

Lucianna Szeliga

Graduou-se em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2011. Ingressou no mestrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2012, desenvolvendo Dissertação na linha de pesquisa de Geotecnia Experimental aplicada a solos estabilizados.

Ficha Catalográfica

Szeliga, Lucianna

Estudo experimental de um solo arenoso estabilizado com cinzas de resíduo sólido urbano e cal / Lucianna Szeliga; orientadora: Michéle Dal Toé Casagrande. – 2014
160 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Ensaios triaxiais. 3. Resíduo sólido urbano (RSU). 4. Estabilização de solos. 5. Cinza volante. 6. Cinza de fundo. I. Casagrande, Michéle Dal Toé II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

*Dedico esta Dissertação aos meus pais
Edison e Iza, às minhas irmãs,
Aline e Marina, e à minha sobrinha Clara.*

Agradecimentos

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Edison e Iza, que dedicam suas vidas a mim e às minhas irmãs, nos dando tudo e um pouco mais. As minhas irmãs Aline e Marina, pelo companheirismo, amizade e amor. A minha sobrinha Clara, que ainda está em seus primeiros anos de vida, e faz tudo parecer mágico e possível com um sorriso de criança.

A Daniel, por viver conmigo parte de esta jornada, haciéndose presente apesar de la distancia. Por ser más que mi novio, mi amigo y motivador. Gracias por tu amor y cariño, por estar siempre a mi lado, por las interminables conversaciones vía whatsapp y por darme fuerza en todos los momentos. Te amo.

A todos os meus amigos, por compreenderem os momentos de ausência. E em especial as minhas amigas-irmãs Ana Clara e Maiza, por sempre me darem força, acreditarem em mim e estarem sempre ao meu lado quando preciso. Obrigada por suas amizades.

A todos meus amigos que fizeram parte dessa jornada comigo... Sofrendo (bastante!) e se divertindo também! Um agradecimento especial à Amanda, Nathalia, Rhaissa, Sandra, Giobana, Julia e Ivânia (As mulheres estão dominando a Engenharia!).

A professora Michéle Casagrande, pela orientação do meu trabalho, por todo o conhecimento transmitido e por me dar força para chegar até aqui, principalmente nas muitas vezes que me perguntei “o que é que eu tô fazendo aqui?”. Obrigada por estar sempre disposta a me atender e tirar dúvidas mesmo através de fotos e mensagens por whatsapp (viva à tecnologia nesses momentos!). Obrigada por me acompanhar nessa longa jornada, que se iniciou ainda na minha graduação, por sempre acreditar em mim, e por ser mais que professora, uma grande amiga! Parte dessa conquista é dedicada a você!

Aos professores da Engenharia Civil da PUC-Rio pelas aulas ditadas e os conhecimentos transmitidos durante estes dois anos de mestrado.

Aos funcionários do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, Josué e Amaury, pelos auxílios e disponibilidade na realização dos ensaios, e momentos de descontração no laboratório.

A Usina Verde S.A., pelo fornecimento das cinzas utilizadas neste estudo.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro prestado para a realização deste trabalho.

Resumo

Szeliga, Lucianna; Casagrande, Michéle Dal Toé. **Estudo Experimental de um Solo Arenoso Estabilizado com Cinzas de Resíduo Sólido Urbano e Cal.** Rio de Janeiro, 2013. 160 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este estudo apresenta o comportamento de um solo arenoso estabilizado com cinzas obtidas através da incineração de Resíduo Sólido Urbano (RSU) e cal. Através de um estudo experimental, objetiva-se avaliar a aplicabilidade de misturas solo-cinza e solo-cinza volante-cal em obras geotécnicas como, por exemplo, camadas de aterros sanitários, aterros sobre solos moles e estabilização de taludes. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização física, química e mecânica (ensaio triaxiais CID) para os materiais envolvidos. Para as misturas solo-cinza volante-cal, adicionou-se 3% de cal em substituição ao peso seco das cinzas. Foram avaliadas as influências do teor de cinza (30 e 40%) e tipo de cinza (volante - CV e fundo - CF), bem como o tempo de cura (0, 60 e 90 dias) para misturas com cinza volante e cal. Os resultados mostram que tanto as misturas com CV, como CF, apresentam resultados satisfatórios. Para ambas as cinzas, as porcentagens de 30 e 40% apresentaram resultados similares, podendo-se adotar o valor de 40% como teor ótimo, uma vez que proporciona a utilização de uma maior quantidade de resíduo. Comparando-se as cinzas, a CF apresentou resultados mais satisfatórios que a CV. Para as misturas com cura, observou-se que no tempo de 60 dias o material sofreu um maior ganho de resistência. Foram utilizados dois métodos de moldagem de corpo de prova para o ensaio com cura, obtendo-se melhor resultado para o método onde a cura era realizada em um corpo de prova pré-moldado. Portanto o uso das cinzas de RSU em mistura com este tipo de solo se mostra satisfatório, uma vez que apresentou um bom comportamento, contribui com o menor consumo de material natural e proporciona uma destinação ambientalmente correta deste resíduo.

Palavras-chave

Ensaio triaxiais; resíduo sólido urbano (RSU); estabilização de solos; cinza volante; cinza de fundo.

Abstract

Szeliga, Lucianna; Casagrande, Michéle Dal Toé (Advisor). **Experimental Study of Sandy Soil Stabilized with Municipal Solid Waste Ashes and Lime.** Rio de Janeiro, 2014. 160 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This study presents the behavior of a sandy soil stabilized with municipal solid waste ash, and lime. In order to evaluate the applicability of mixtures soil-ash and soil-fly ash-lime for using in geotechnical projects as layers of landfills, embankment on soft soils and slope stability, an experimental campaign is presented. Thus, physical, chemical and mechanical (isotropically consolidated-drained triaxial test) characterization tests were performed for each material and mixtures. It was used 3% of lime in the mixtures soil- fly ash-lime, being added in replacement to the dry weight of fly ash. Were evaluated the influence of ash content (30 and 40%), type of ash (fly ash and bottom ash) and curing time (0, 60 and 90 days) for mixtures containing fly ash and lime. The results have shown that mixtures with both kinds of ashes present a satisfactory behavior, increasing or maintaining the shear strength parameters similar to the pure material. For both kinds of ashes the variation of the content has not provided significant changes in the strength parameters, therefore, 40% can be considered as best content, once it provides a bigger destination of the residue. Comparing fly and bottom ash, the last has presented better results than fly ash. For mixtures with lime and cure, it has been observed better results for 60 days of cure, with greater gain of strength. Two molding methods have been used for preparing the mixture specimen, being obtained a better result with pre modeled specimen. Therefore, the use of municipal solid waste ash for stabilizing this kind of soil for using in the cited works, could minimize the current problems of waste disposal, contribute with the reduction of consumption of natural resources and give a noble use for this material.

Keywords

Triaxial tests; municipal solid waste (MSW); soil stabilization; fly ash; bottom ash.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 RELEVÂNCIA DA PESQUISA	22
1.2 OBJETIVOS	23
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	26
2.1.1 Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.	27
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	30
2.2.1 Classificação de Resíduos	31
2.2.2 RSU na cidade do Rio de Janeiro	32
2.3 RESÍDUO SÓLIDO URBANO E SEU IMPACTO AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA.	33
2.3.1. Impactos Ambientais	34
2.3.2. Impactos à Saúde Humana	35
2.4 INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	36
2.4.1 Cinzas de RSU	37
2.5 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS	40
2.5.1 Estabilização Mecânica	41
2.5.2 Estabilização Física	42
2.5.3 Estabilização Química	43
2.5.3.1 Solo-Cimento	44
2.5.3.2 Solo-Cal	47
2.5.3.3 Solo-Cinza-Cal	52
2.5.3.4 Solo-Cinza de Carvão	57
2.6 APROVEITAMENTO DAS CINZAS DE RSU	59
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	70
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	70
3.1.1 Solo Arenoso	71

3.1.2 Cinza Volante e Cinza de Fundo	72
3.1.2.1 <i>A Produção de Cinzas de RSU</i>	73
3.1.2.2 <i>Processo de Incineração</i>	74
3.1.3 Cal	75
3.1.4 Água	76
3.1.5 Misturas Solo-Cinza	76
3.1.6 Misturas Solo-Cinza-Cal	77
3.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	78
3.2.1 Ensaaios de Caracterização Física	79
3.2.1.1 <i>Densidade Real dos Grãos</i>	80
3.2.1.2 <i>Análise Granulométrica</i>	80
3.2.1.3 <i>Índice de Vazios Máximos e Mínimos</i>	81
3.2.2. Ensaaios de Caracterização Química	82
3.1.2.2 <i>Composição Química</i>	82
3.2.3 Ensaio de Caracterização Mecânica	83
3.2.3.1 <i>Resistência ao Cisalhamento</i>	83
3.2.3.2 <i>Ensaio de Compressão Triaxial</i>	84
3.2.3.3 <i>Ensaaios Triaxiais CID</i>	86
4. RESULTADOS E ANÁLISES	96
4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	96
4.1.1 Solo Arenoso Puro	96
4.1.1.1 <i>Índices Físicos</i>	96
4.1.1.2 <i>Análise Granulométrica</i>	97
4.1.2 Cinzas de RSU e Misturas em Estudo	97
4.1.2.1 <i>Densidade Real dos Grãos (Gs)</i>	97
4.1.2.2 <i>Análise Granulométrica</i>	98
4.1.2.3 <i>Ensaaios Químicos</i>	102
<u>Composição Química</u>	102
<u>Teor de Matéria Orgânica</u>	105
<u>Ensaaios de Lixiviação e Solubilização</u>	105
4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA	109
4.2.1 Ensaaios Triaxiais CID	109

4.2.1.1	<i>Comportamento Tensão Desviadora e Variação volumétrica versus Deformação Axial.</i>	110
4.2.1.2	<i>Influência do tipo de cinza</i>	119
4.2.1.3	<i>Influência do teor de cinza</i>	127
4.2.1.4	<i>Influência do tempo de cura para as misturas com cal</i>	135
4.2.1.5	<i>Influência do método de moldagem do corpo de prova para o ensaio com cura</i>	139
4.2.1.6	<i>Comparação geral dos resultados</i>	143
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE SOLO ARENOSO E ARGILOSO EM MISTURA COM CINZAS VOLANTE E DE FUNDO DE RSU E CAL	145
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
5.1	CONCLUSÕES	148
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	151
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Participação das regiões do país no total de RSU coletado em 2012 (ABRELPE, 2012).	28
Figura 2.2 - Destinação final de RSU em toneladas por dia (ABRELPE, 2012).	29
Figura 2.3 – Frações granulares da cinza de fundo de RSU utilizada na presente pesquisa.	39
Figura 2.4 – Efeito do tempo de cura sobre a resistência à compressão simples para alguns solos estabilizados com cal (Ingles & Metcalf, 1972 <i>apud</i> Rosa, 2009).	51
Figura 2.5 – Efeito do teor de cal sobre a resistência a compressão simples para alguns solos tratados com cal e curados por 7 dias (Fonte: Ingles & Metcalf, 1972 <i>apud</i> Quispe, 2013).	52
Figura 2.6 – Fatores que influenciam nas propriedades dos materiais estabilizados pozolânicamente (Nardi, 1975).	55
Figura 3.1 – Solo arenoso em estudo.	71
Figura 3.2 – Local de coleta do material na praia da Barra da Tijuca - RJ.	72
Figura 3.3 – Cinza Volante de RSU.	73
Figura 3.4 – Cinza de Fundo de RSU.	73
Figura 3.5 – Diferentes critérios para definição de ruptura (Head, 1986 <i>apud</i> Dias, 2007).	84
Figura 3.6 – Seção de uma câmara triaxial (Bishop e Bjerrum, 1960 <i>apud</i> Das, 2007).	85
Figura 3.7 – (a) Medidor de Variação de Volume; (b) Painel de controle das pressões; (c) Câmara de acrílico; (d) Corpo de prova; (e) Transdutor de Pressão; (f) LVDT; (g) Conjunto de engrenagens para aplicação da velocidade de cisalhamento.	87

Figura 3.8 – Molde tripartido.	88
Figura 3.9 – Material presente na cinza de fundo descartado antes do ensaio triaxial.	88
Figura 3.10 – Processo de moldagem do corpo de prova para ensaio triaxial.	89
Figura 3.11 – Processo de moldagem do corpo de prova para ensaio com cura (Método 2).	91
Figura 3.12 – Transferência do corpo de prova do molde para o equipamento triaxial no método com cura.	92
Figura 4.1 – Curva granulométrica do solo arenoso puro.	97
Figura 4.2 – Curvas granulométricas dos materiais puros.	99
Figura 4.3 – Curvas granulométricas do solo, cinza volante e misturas do solo com 30% e 40% de cinza volante.	99
Figura 4.4 – Curvas granulométricas do solo, cinza de fundo e misturas do solo com 30% e 40% de cinza de fundo.	100
Figura 4.5 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para o solo arenoso em ensaios triaxiais.	110
Figura 4.6 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₃₀ A ₇₀ em ensaios triaxiais.	111
Figura 4.7 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₄₀ A ₆₀ em ensaios triaxiais.	112
Figura 4.8 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CF ₃₀ A ₇₀ em ensaios triaxiais.	113
Figura 4.9 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CF ₄₀ A ₆₀ em ensaios triaxiais.	114

Figura 4.10 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₂₇ Cal ₃ A ₇₀ _T0 em ensaios triaxiais.	115
Figura 4.11 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₂₇ Cal ₃ A ₇₀ _T60 em ensaios triaxiais.	116
Figura 4.12 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₂₇ Cal ₃ A ₇₀ _T90 em ensaios triaxiais.	117
Figura 4.13 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial para a mistura CV ₂₇ Cal ₃ A ₇₀ _T60_PM em ensaios triaxiais.	118
Figura 4.14 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A ₁₀₀ e misturas CF ₃₀ A ₇₀ e CV ₃₀ A ₇₀ em ensaios triaxiais.	121
Figura 4.15 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A ₁₀₀ e misturas CF ₄₀ A ₆₀ e CV ₄₀ A ₆₀ em ensaios triaxiais.	123
Figura 4.16 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A ₁₀₀) e misturas CV ₃₀ A ₇₀ e CF ₃₀ A ₇₀ .	125
Figura 4.17 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A ₁₀₀) e misturas CV ₄₀ A ₆₀ e CF ₄₀ A ₆₀ .	126
Figura 4.18 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A ₁₀₀ e misturas CV ₃₀ A ₇₀ e CV ₄₀ A ₆₀ em ensaios triaxiais.	129
Figura 4.19 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A ₁₀₀ e misturas CF ₃₀ A ₇₀ e CF ₄₀ A ₆₀ em ensaios triaxiais.	132
Figura 4.20 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A ₁₀₀) e misturas CV ₃₀ A ₇₀ e CV ₄₀ A ₆₀ .	133

- Figura 4.21 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A_{100}) e misturas $CF_{30}A_{70}$ e $CF_{40}A_{60}$. 134
- Figura 4.22 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A_{100} e mistura $CV_{27}Cal_3A_{70}$ nos tempos de cura de 0, 60 e 90 dias, em ensaios triaxiais. 137
- Figura 4.23 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A_{100}) e misturas $CV_{27}Cal_3A_{70}$ com tempos de cura de 0, 60 e 90 dias. 138
- Figura 4.24 – Curvas tensão desviadora e deformação volumétrica versus deformação axial das amostras A_{100} e misturas $CV_{27}Cal_3A_{70_T60}$ e $CV_{27}Cal_3A_{70_T60_PM}$, em ensaios triaxiais. 141
- Figura 4.25 – Comparação entre as envoltórias de resistência do Solo Puro (A_{100}) e misturas $CV_{27}Cal_3A_{70_T60}$ e $CV_{27}Cal_3A_{70_T60_PM}$. 142

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Previsão da quantidade de cal em função dos diferentes tipos de solo (Fonte: Ingles & Metcalf, 1972 apud Sandroni & Consoli, 2010).	50
Tabela 2.2 - Uso potencial da cinza volante de RSU. (Ferreira et al, 2003) .	60
Tabela 3.1 - Exigências Físicas e Químicas da Cal (Fonte: Sandroni & Consoli, 2010).	76
Tabela 3.2 - Símbolos utilizados para os solos e misturas.	78
Tabela 4.1 - Índices físicos do solo arenoso.	96
Tabela 4.2 - Resultados do ensaio de densidade real dos grãos para o solo, cinza volante e misturas.	98
Tabela 4.3 - Resultados do ensaio de densidade real dos grãos para o solo, cinza de fundo e misturas.	98
Tabela 4.4 - Resultados das análises granulométricas.	101
Tabela 4.5 - Classificação SUCS dos materiais.	101
Tabela 4.6 - Elementos químicos presentes nas cinza volante e de fundo e mistura com cal.	102
Tabela 4.7 - Composição química da cinza volante de RSU estudada e comparação com outros estudos.	103
Tabela 4.8 - Composição química da cinza de fundo de RSU estudada e comparação com outros estudos.	104
Tabela 4.9 - Teor de matéria orgânica da cinza de fundo e volante (Vizcarra, 2010).	105
Tabela 4.10 - Resultados analíticos: Lixiviado – Parâmetros Inorgânicos (Vizcarra, 2010).	106

Tabela 4.11 - Resultados analíticos: Lixiviado – Parâmetros Orgânicos (Vizcarra, 2010).	106
Tabela 4.12 - Resultados analíticos: Solubilizado – Parâmetros Inorgânicos (Vizcarra, 2010).	107
Tabela 4.13 - Resultados analíticos: Solubilizado – Parâmetros Orgânicos (Vizcarra, 2010).	108
Tabela 4.14 – Variação dos valores de massa específica seca das misturas estudadas.	119
Tabela 4.15 - Resumo dos valores de coesão e ângulo de atrito para o solo puro e misturas solo-cinza e solo-cinza-cal estudadas no presente trabalho.	143
Tabela 4.16 - Comparação entre a influência da inserção de cinzas volante e de fundo de RSU nos parâmetros de resistência de um solo argiloso e arenoso.	145

Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CD	Adensado e drenado
CF	Cinza de Fundo
CID	Consolidado Isotropicamente Drenado
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CU	Adensado e não drenado
CV	Cinza Volante
EDX	Espectrometria de fluorescência de Raios-X
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
ML	Silte com areia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MVV	Medidores de Variação Volumétrica
NBR	Norma Brasileira
PUC	Pontifícia Universidade Católica
SP	Areia mal graduada
SM	Areia mal graduada
	Sistema Unificado de Classificação dos
SUCS	Solos
UU	Não adensado e não drenado

Lista de Símbolos

G _s	Peso específico
e	Índice de vazios
e _{máximo}	Índice de vazios máximo
e _{mínimo}	Índice de vazios mínimo
C _u	Coeficiente de uniformidade
C _c	Coeficiente de curvatura
D ₁₀	Diâmetro efetivo
D ₅₀	Diâmetro médio
t _f	Tempo mínimo de ruptura
L	Altura do corpo de prova
v	Velocidade de cisalhamento
'	Relativo a tensões efetivas
”	Polegadas
#	Número
ε _a	Deformação axial
ε _v	Deformação volumétrica
τ	Tensão de cisalhamento
σ ₁ , σ ₃	Tensões principais, maior e menor
σ' _c	Tensão de confinamento efetiva
σ _v	Tensão desviadora
φ'	Ângulo de atrito
c'	Coesão
p'	(σ' ₁ + σ' ₃)/2 (Tensão efetiva média normal)
q	(σ' ₁ – σ' ₃) /2 (Tensão de Desvio)
h	Altura final do corpo de prova.
h _i	Altura inicial do corpo de prova.
%	Porcentagem
ml	Mililitro
mm	Milímetro

cm	Centímetros
m	Metro
t	Tonelada
t/ano	Tonelada por ano
mm/min	Milímetro por minuto
min	Minuto
Gs	Grama
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf/m ²	Quilograma força por metro quadrado
kN	Quilo Newton
kPa	Quilo Pascal
°C	Graus centígrados
H ₂ O	Água
SiO ₂	Sílica
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Hematita
SO ₃	Anidro Sulfúrico
CaO	Óxido de Cálcio
Cl	Cloro
TiO ₂	Dióxido de Titânio
K ₂ O	Óxido de Potássio
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
ZnO	Óxido de Zinco
Cr ₂ O ₃	Óxido de Crômio (III)
MnO	Óxido de Manganês (II)
SrO	Óxido de Estrôncio
ZrO ₂	Óxido de Zircônio
CuO	Óxido de Cobre (II)
PbO	Óxido de Chumbo (II)
MgO	Óxido de Magnésio
Na ₂ O	Óxido de Sódio

V_2O_5	Pentóxido de Vanádio
KI	Iodeto de Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
NaOH	Hidróxido de sódio
CO_2	Dióxido de Carbono
pH	Medida da acidez ou basicidade

*Só existem dois dias no ano em que nada pode ser feito.
Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto
hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e
principalmente viver.”*

Dalai Lama