

Leonardo Rodrigues Eiras Silva

R. A. 002200200275

## **COMPACTAÇÃO DO SOLO**

Itatiba / SP

2008

Leonardo Rodrigues Eiras Silva

R. A. 002200200275

## **COMPACTAÇÃO DO SOLO**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, sob a orientação do Prof. Ribamar Jesus Gomes, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Itatiba / SP

2008

SILVA, Leonardo Rodrigues Eiras. "**Compactação do Solo**". Monografia defendida e aprovada na Universidade São Francisco em XXX de dezembro de 2008 pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. Ribamar Jesus Gomes  
USF – orientador

---

Prof. Adão Marques Batista  
USF – examinador

---

Prof. André Bartholomeu  
USF – examinador

Dedico o presente trabalho aos meus pais, avós, tios, e, em especial, aos professores Ribamar e Adão, pela compreensão e importante ajuda no processo de formação acadêmica de cada aluno do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer significa reverenciar o comportamento e ajuda de pessoas pelo incentivo e, por vezes, ajuda material ou moral que possam ter contribuído e é neste espírito que agradeço a Deus, que todos os dias me renova de esperanças e crença em um mundo melhor.

Aos meus pais, que incansavelmente me apoiaram e deram palavras de estímulo e fortalecimento.

Aos meus avós e tios, que sempre me compreenderam nos dias de angústia e aflição diante dos estudos.

Aos amigos, que conquistei ao longo do curso de graduação, e, em especial, aos mestres, que, com muita dedicação e paciência, nos instruíram com conhecimento técnico e científico e, mais do que isso, foram verdadeiros amigos nos momentos de dificuldade.

A todos vocês, que fizeram e fazem parte da minha vida e trajetória, meus sinceros agradecimentos.

*Na natureza, nada se cria, nada se perde,  
tudo se transforma.*

(Lavoisier)

## RESUMO

O trabalho monográfico é focado na compactação do solo. Ver-se-á diversos modos e mecanismos para este processo de compactação dos diferentes solos. A compactação é possível por meios mecânicos ou manuais, que dependerão de conhecimento de cada tipo específico de solo, bem como o seu grau de umidade, pois é da umidade que depende a compactação. Para a possibilidade de compactação, deve-se, ainda, expulsar o ar que se encontra comprimido nas camadas do solo, a fim de obter o melhor resultado possível. No entanto, a compactação mecânica só é possível graças a técnicas de compactação desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos, dentre elas, a invenção dos rolos compactadores e dos métodos de controle da compactação. Alguns autores irão elencar várias classificações do solo e os diferentes tipos de equipamentos que devem ser usados no processo de compactação. Em alguns tipos de solos, é necessário um estudo mais detalhado do material da área a ser compactada pela complexidade da composição daquele solo, emprega-se variada tecnologia para tanto.

**Palavras-chave:** COMPACTAÇÃO, SOLO, UMIDADE.

## ABSTRACT

The monographic work is focused on the compaction of soil, we will see various modes and mechanisms for this process of compression in different soils. The compression is possible using mechanical or manual, which will depend on knowledge of each specific type of soil and its moisture content, because it is the humidity which the compression. For the possibility of compression, it is also, expel it is also, expel the air that is compressed in layers of soil in order to obtain the best possible result. However, the mechanical compaction is only possible thanks to the compression techniques developed and refined over the years, among them the invention of invention of roller compactors and methods to control the compaction. Some authors IRAM lists the various classifications of soils and different types of equipment to be used in the process of compression. In some types of soil need a more detailed study of material of the area being compressed by the complexity of the composition of that land, employs technology is varied for both.

**Key words:** COMPRESSION, SOIL, HUMIDITY.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1 Compactação do Solo</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1.1 Definição de Solo</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1.2 Tipos de Solo</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1.2.1 Classificação Unificada</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1.2.2 Sistema Rodoviário de Classificação</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1.2.3 Classificações Regionais</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1.2.4 Classificações quanto à origem</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.3 Comportamento dos Solos</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.3.1 Solos coesivos</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.3.2 Solos granulares</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1.3.3 Solos orgânicos</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1.4 Umidade</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1.5 Esforço de Compactação</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1.6 Equipamentos Empregados</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1.6.1 Equipamentos recomendados para solos coesivos</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1.6.2 Equipamentos recomendados para solos granulares</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1.7 Solos Heterogêneos</b> .....	<b>30</b>

4.1.7.1	Altura de compactação e desempenho da máquina .....	30
4.2	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO .....	30
4.2.1	Ensaio de Proctor .....	30
4.2.2	Energias de compactação .....	32
4.2.3	Tipos de compactação em laboratório .....	33
4.3	COMPACTAÇÃO DE CAMPO.....	33
4.3.1	Escolha da área de empréstimo .....	33
4.3.2	Escavação, transporte e espalhamento do solo.....	33
4.4	ESPECIFICAÇÕES DA COMPACTAÇÃO .....	34
4.5	CONTROLE DE COMPACTAÇÃO EM CAMPO .....	35
4.5.1	CONTROLE DA UMIDADE EM CAMPO.....	35
4.5.1.1	Teste de mão.....	35
4.5.1.2	Teste umidímetro ou sistema “speed” .....	36
4.5.1.3	Método da Frigideira .....	37
4.5.1.4	Método do álcool .....	38
4.5.2	Controle da Densidade em Campo .....	38
4.5.2.1	Teste do cone de areia .....	38
4.5.2.2	Densidade nuclear .....	39
4.5.2.3	Teste nuclear.....	39
4.5.2.4	Método de Hilf .....	39
4.6	COMPORTAMENTO DE SOLOS COMPACTADOS.....	40
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solo de formação argilosa.....	21
Figura 2. Dunas de areia .....	21
Figura 3. Solo com formação de cascalho.....	22
Figura 4. Solo de formação de seixos .....	22
Figura 5. Solos orgânicos.....	23
Figura 6. Tecgyn compactador.....	25
Figura 7. Compactadores de placas vibratórias.....	25
Figura 8. Compactadores de placas vibratórias reversíveis .....	26
Figura 9. Compactador de rolo.....	26
Figura 10. Compactador de rolo pé-de-carneiro.....	27
Figura 11. Compactador de rolo pneumático .....	28
Figura 12. Compactador de rolo vibratório pé-de-carneiro .....	28
Figura 13. Compactador de percussão .....	29
Figura 14. Compactador com placas reversíveis e rolos vibratórios lisos.....	29
Figura 15. Ensaio de Proctor .....	32
Figura 16. Equipamento do Ensaio de Proctor .....	32
Figura 17. Teste de mão.....	35
Figura 18. Equipamento Speed .....	36
Figura 19. Aparelho do Equipamento Speed .....	37
Figura 20. Balança do Equipamento Speed .....	37
Figura 21. Frigideira e fogareiro.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- 2.008/12/02.civilnet.com/mecânica dos solos .....	13
Tabela 2. Tabela Unificada da Classificação dos Solos .....	19

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Exemplo de curva de distribuição granulométrica do solo .....	18
Gráfico 2. Curva de Compactação pelo método de Proctor .....	31

# 1 INTRODUÇÃO

Toda obra de engenharia requer um estudo sistemático da área a ser trabalhada; neste sentido, conhecer o solo e saber sua melhor forma de compactação é importante.

As técnicas de compactação são bastante recentes, mas se trata de uma operação simples e de grande importância pelos seus efeitos na estabilidade de terrenos para os diferentes usos, tais como: para rodovia, pavimentação, barragens e aterros.

Desse modo, iremos pesquisar os diferentes solos e, para cada um deles, serão usadas técnicas diferentes de compactação, conhecendo sua constituição orgânica e granular, sua umidade e densidade, a sua resistência e a força a ser aplicada.

Quanto à sua estabilidade, será tomada a hipótese de seu equilíbrio numa massa de solo como corpo, determinando o ponto exato da estabilidade pretendida para a compactação.

Na origem do solo consideram-se os que resultam de decomposição orgânica ou animal, residual ou sedimentar, podendo passar por solos rochosos.

Na umidade do solo, teremos vários dispositivos de testes, tais como: Método de Álcool, Método Umídímetro, dentre outros abordados ao longo do estudo.

Os ensaios podem ser o de Laboratório, utilizando a bomba de vácuo e peneira, Ensaio de Campo.

Então, todo o trabalho resultará na pesquisa do solo para a ideal compactação, empregando as técnicas e o conhecimento científico adquiridos no decorrer dos estudos e da aplicação de materiais usados para o trabalho.

**Tabela 1. Mecânica dos solos**

MÉTODOS	TIPOS
FÍSICOS	Confinamento (solos com atrito)
	Pré-consolidação (solos finos argilosos)
	Mistura (solo + solo)
	Vibroflotação
QUÍMICOS	Sal
	Cal
	Cimento
	Asfalto
	Etc.
MECÂNICOS	Compactação

Fonte: Civilnet (2008)

## **2 OBJETIVO**

Contribuir plena e satisfatoriamente para os estudos da comparação dos diferentes tipos de solo e total controle do campo compactado. A compactação dos solos tem como principal objetivo dar resistência a qualquer tipo de carga que estiver exposta, assim também como forças da natureza, como: erosões, desmoronamentos, recalques, e diversas patologias do tipo.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Este trabalho tem por justificativa o estudo dos diferentes tipos de solo e, conseqüentemente, os diferentes meios de compactação, levando-se em consideração a formação de cada solo e sua densidade e resistência à compactação pretendida.

Em resumo, pretendo aplicar os conhecimentos técnicos adquiridos ao longo do curso de graduação, mostrando e comprovando teses já desenvolvidas, mas com aprimoramento e visão diferenciadas.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Compactação do Solo

Segundo CAPUTO (1975), entende-se como compactação de um solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim, aumentar sua resistência, tornando-o mais estável.

Em geral, existem cinco fatores para a compactação de um solo:

- Aumentar resistência à carga;
- Eliminar recalque do solo ou qualquer outro dano;
- Aumentar sua estabilidade ou dar a ele estabilidade;
- Redução do teor de umidade ou água com filtragem ou drenagem;
- Expulsão de ar.

SOUSA PINTO (2006) afirma que essa técnica é empregada em diversas obras de engenharia, como os aterros para diversas utilidades, as camadas constitutivas de pavimentação, a construção de barragens de terra, preenchimento dos espaços atrás de muros de arrimo e reenchimento das inúmeras valetas que se abrem diariamente nas cidades.

O início da técnica de compactação é creditada ao engenheiro norte-americano Proctor, que, em 1933, publicou suas observações sobre a compactação de aterros.

De acordo com seus estudos, os elementos que influenciam na qualidade da compactação do solo são:

- Tipo de solo;
- Teor de umidade do solo;
- Esforço de compactação necessário.

#### 4.1.1 Definição de Solo

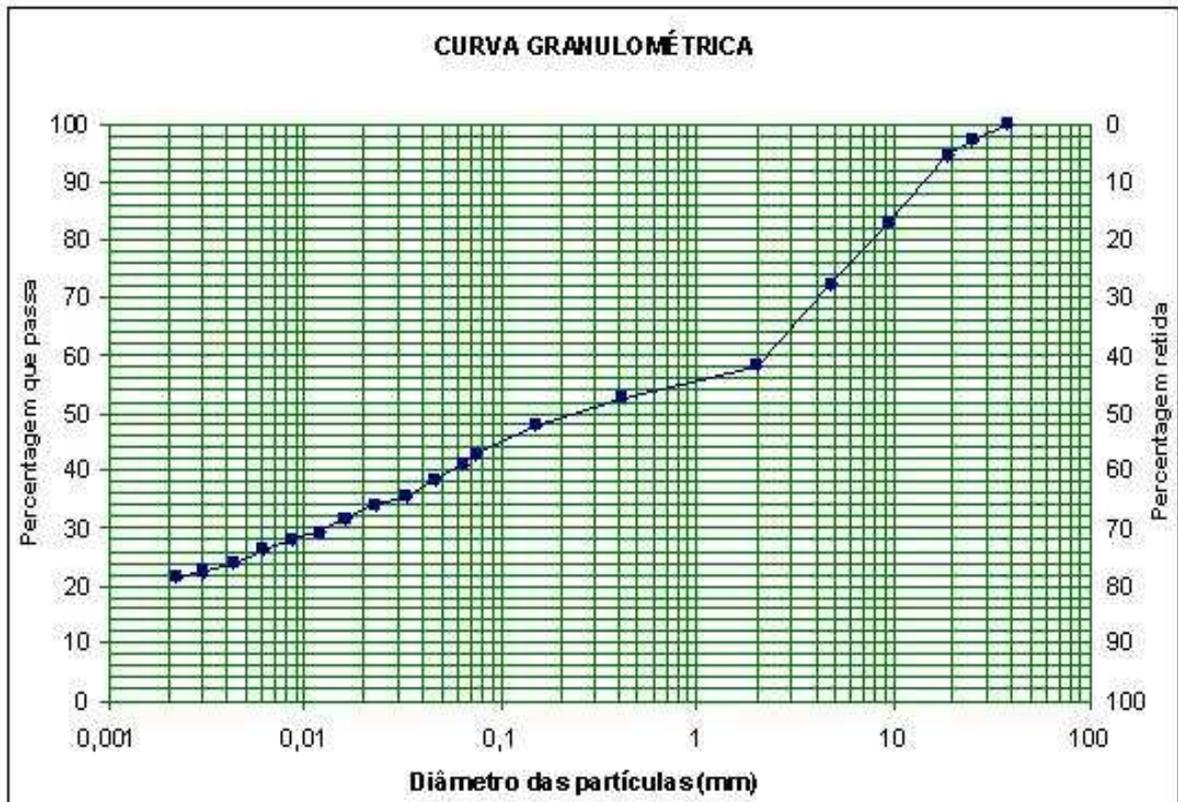
Entende-se, como solo, a formação de um local por forças naturais, que ocorre com a sedimentação de alguns materiais. É a porção da superfície terrestre onde se anda e se constrói, etc., material da crosta terrestre, não consolidado, que, ordinariamente, se distingue das rochas, de cuja decomposição em geral provêm, por serem suas partículas desagregáveis pela simples agitação dentro da água.

Geologicamente, define-se solo como o material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. (DNER, 1996).

### 4.1.2 Tipos de Solo

A constituição de um solo determina o melhor método de compactação a ser utilizado. Cada tipo de solo se comporta diferentemente com respeito à densidade máxima e umidade ótima. Então, cada tipo de solo tem suas exigências e controles próprios e individuais, tanto no campo como para fins de testes. Os tipos de solo são comumente classificados pelo tamanho do grão, determinado pela passagem do solo através de uma série de peneiras para separar os diferentes tamanhos de grão (análise granulométrica).

- Pedregulho: é a fração do solo que passa na peneira de (3") e é retida na peneira 2,00mm(n°10);
  - Areia: é a fração do solo que passa na peneira de 2,00(n°10) e é retida na peneira de 0,075mm(n°200);
    - Areia grossa: é a fração compreendida entre as peneiras de 2,00 mm (n° 10) e 0,42 mm (n°40);
    - Areia fina: é a fração compreendida entre as peneiras de 0,42 (n°40) e 0,075 mm( n°200);
    - Silte: é a fração com tamanho de grão entre a peneira de 0,075 mm( n° 200) e 0,005 mm;
    - Argila: é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,005 (argila coloidal é fração com tamanhos de grãos abaixo de 0,001 mm). (DNER, 1996).



**Gráfico 1. Exemplo de curva de distribuição granulométrica do solo**

Fonte: SOUSA PINTO (2006)

Visando agrupar em conjuntos distintos solos com as mesmas propriedades de interesse da engenharia, surgiram diversos sistemas de classificações do solo, conforme se verá a seguir.

#### 4.1.2.1 Classificação Unificada

De acordo com SOUSA PINTO (2006), este sistema de classificação foi elaborado originalmente pelo Prof. Casagrande para obras de aeroportos, tendo seu emprego sido generalizado. Atualmente, é utilizado principalmente pelos geólogos que trabalham em barragens de terra. Para tanto, elaborou-se uma tabela classificatória para os diferentes solos (Tabela 2).

**Tabela 2. Tabela Unificada da Classificação dos Solos**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
G	<u>Pedregulho</u>
S	<u>Areia</u>
M	<u>Silte</u>
C	<u>Argila</u>
O	Solo Orgânico
W	Bem Graduado
P	Mal Graduado
H	Alta Compressibilidade
L	Baixa Compressibilidade
Pt	Turfas

Fonte: Souza Pinto (2006)

#### **4.1.2.2 Sistema Rodoviário de Classificação**

A classificação do solo é dividida em 15 categorias, sendo este sistema estabelecido pela AASHTO (Associação Americana de Funcionários de Transporte e Estradas Estatais).

Os solos encontrados na natureza quase sempre têm uma combinação de tipo de solo. Um solo bem qualificado consiste em uma larga faixa de tamanhos de partícula com as partículas menores, preenchendo vazios entre partículas maiores. O resultado é uma estrutura densa, boa para compactação.

#### **4.1.2.3 Classificações Regionais**

SOUSA PINTO (2006), em sua obra, afirma que, enquanto o sistema Rodoviário é bastante empregado pelos rodoviários, o Sistema Unificado é empregado pelos engenheiros de outras áreas. Já os engenheiros de fundações não empregam diretamente nenhum destes sistemas.

De modo geral, eles seguem uma maneira informal de classificar os solos, bem regional, que pode ter tido origem nestes sistemas. Temos como exemplo a cidade de São Paulo, que tem diversos tipos de solos, cujas características vão sendo progressivamente pesquisadas e incorporadas ao conhecimento técnico.

#### **4.1.2.4 Classificações quanto à origem**

Para SOUSA PINTO (2006), os solos, ainda, se classificam quanto à sua origem, que é um complemento importante para o conhecimento das ocorrências e para a transmissão de conhecimentos acumulados. Algumas vezes, a indicação da origem do solo é tão ou mais útil do que a classificação sob o ponto de vista da constituição física. Para o autor, os solos se subdividem em dois grupos: os residuais e os transportados.

- Solos Residuais: São resultantes da decomposição de origem, no próprio local em que se encontra essa rocha. Não há transporte de material. Geralmente acompanham a topografia do terreno e possuem camadas de espessura variável.
- Solos Transportados: São resultantes da decomposição das rochas e posterior transporte do material, do material de local de origem, para outros diferentes. Geralmente ficam dispostos em camadas horizontais, ou pouco inclinadas, de espessura uniforme. (GEOSERV./SERVIÇOS DE GEOTECNIA E CONSTRUÇÕES LTDA. GOIÁS).

#### **4.1.3 Comportamento dos Solos**

Os solos, conforme seu comportamento, podem se apresentar em três grupos básicos de solo:

- Solos coesivos;
- Solos granulares;
- Solos orgânicos.

##### **4.1.3.1 Solos coesivos**

São solos formados por partículas menores e compactação mais complexa, isto segundo SOUZA PINTO (2006). As argilas, conforme mostradas na Figura 1, fazem parte deste grupo, já que, quando são manuseadas, percebe-se certa consistência, ao contrário das areias, que se deslocam facilmente. Entendemos, então, que tal solo tem uma coesão notadamente mais alta.



**Figura 1. Solo de formação argilosa**  
Fonte: Wikipédia (2008)

#### 4.1.3.2 Solos granulares

Solos granulares, de acordo com as Figuras 2, 3, 4, possuem tamanho de partícula maior e são muito aproveitáveis por suas propriedades de drenagem de água. Tanto a areia como o cascalho, exemplos deste tipo de material, tem sua densidade maximamente aproveitada na compactação, as curvas de teste são planas, em sua maioria, e não há necessidade de considerar o teor de água.



**Figura 2. Dunas de areia**  
Fonte: Wikipédia (2008)



**Figura 3. Solo com formação de cascalho**  
Fonte: Wikipédia (2008)



**Figura 4. Solo de formação de seixos**  
Fonte: Wikipédia (2008)

#### **4.1.3.3 Solos orgânicos**

Quanto aos solos orgânicos, SOUSA PINTO (2006) afirma que são aqueles que contêm quantidade apreciável de matéria decorrente de decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição, geralmente argilas ou areias finas. De acordo com a Figura 5, os solos orgânicos são fáceis de identificar, pela cor escura e pelo odor característico.



**Figura 5. Solos orgânicos**

Fonte: Wikipédia (2008)

#### **4.1.4 Umidade**

A resposta do solo para a umidade é muito importante, como o solo deve suportar a carga durante o processo de compactação e execução do projeto. A chuva, por exemplo, pode transformar o solo em um estado plástico (borrachudo) ou até mesmo em um líquido. Neste estado, o solo tem pouca ou nenhuma capacidade de suportar carga.

O controle do teor de umidade do solo é vital para uma compactação apropriada. A umidade age como um lubrificante dentro do solo, fazendo as partículas se ajustarem. Muito pouca umidade significa compactação inadequada — as partículas não podem se mover entre si para alcançar maior densidade. Excesso de umidade deixa água preenchendo espaços vazios e, subseqüentemente, diminui a capacidade de suportar carga. Proctor (apud MASSAD, 2003) observou que a densidade mais alta para a maioria dos solos está relacionada a um certo teor de água para um determinado esforço de compactação.

#### **4.1.5 Esforço de Compactação**

Para se compactar um solo, geralmente são aplicados esforços, como: vibração, impacto, amassamento e pressão. Estes diferentes tipos de esforço são encontrados nos dois tipos principais de força de compactação: estático e vibratório.

Força estática é simplesmente o peso próprio da máquina aplicado sobre a superfície do solo, comprimindo suas partículas. A única maneira de modificar a força efetiva de compactação é pela adição ou subtração do peso da máquina. Compactação estática é

restrita a camadas superiores do solo e é limitada a determinada profundidade. Amassamento e pressão são dois exemplos de compactação estática. Força vibratória usa um mecanismo, normalmente motorizado, para criar uma força descendente em acréscimo ao peso estático da máquina. O mecanismo vibratório é normalmente um peso excêntrico giratório ou combinação de pistão/mola (em compactadores). Os compactadores produzem uma sucessão rápida de pancadas (impactos) na superfície, afetando, assim, as camadas superficiais, bem como as camadas mais profundas. A vibração se transmite pelo material, colocando as partículas em movimento e as aproximando ao máximo para a densidade mais alta possível. Com base nos materiais que são compactados, certa quantidade de força deve ser usada para superar a força de coesão natural de algumas partículas.

Na prática, estes esforços são produzidos por equipamentos, tais como: rolos e placas vibratórias.

#### **4.1.6 Equipamentos Empregados**

O nível desejado de compactação é melhor alcançado pela combinação do tipo de solo com o método de compactação adequado. Outros fatores devem ser considerados, tais como: especificações de compactação e condições do local da obra. Os equipamentos mais empregados podem ser vistos a seguir:

##### **a) Compactadores**

Compactadores de acordo com a Figura 6 fornecem uma alta força de impacto, fazendo deles uma excelente escolha para solos coesivos e semi-coesivos. A faixa de frequência dos golpes é de 500 a 750 por minuto. Compactadores têm sua força a partir de um pequeno motor a gasolina ou diesel que aciona um pistão grande preso a dois jogos de molas. O compactador tem uma inclinação para a frente, que lhe permite deslocar-se adiante. Compactadores abrangem três tipos de compactação: impacto, vibração e amassamento.



**Figura 6. Tecgyn compactador**  
Fonte: Wikipédia (2008)

b) Compactadores de placas vibratórias

Placas vibratórias, de acordo com a Figura 7, são projetadas para compactar solos granulares e asfalto. Tem motor a gasolina ou diesel e acionam um ou dois pesos excêntricos a uma velocidade alta para desenvolver força de compactação. As vibrações resultantes causam movimento para a frente. A máquina e os punhos estão isolados da vibração da placa. Quanto mais pesada é a placa, maior a força de compactação gerada. A faixa de frequência é usualmente de 2500 a 6000 vpm. Os compactadores de placas vibratórias são mais usados para asfalto, têm um tanque de água e um sistema de irrigação para impedir a aderência do asfalto à placa base. Vibração é o principal efeito para compactação.



**Figura 7. Compactadores de placas vibratórias**  
Fonte: União Locadora (2008)

c) Compactadores de placas vibratórias reversíveis

Os equipamentos de placa vibratória padrão são placas reversíveis, de acordo com a Figura 8, têm dois pesos excêntricos, o que permite transição suave do deslocamento dianteiro para o reverso, e ainda o aumento da força de compactação devido aos dois pesos. Por causa de seu peso e força, placas reversíveis são ideais para solos semi-coesivos.



**Figura 8. Compactadores de placas vibratórias reversíveis**

Fonte: Wikipédia (2008)

d) Rolos lisos

Compactadores de rolo, de acordo com a Figura 9, são disponíveis em diversas categorias: simples e duplos, que estão disponíveis em modelos de rolo liso, pé-de-carneiro e pneus de borracha; e, além disso, são divididos em subcategorias: estáticos e vibratórios. Os rolos lisos são ideais tanto para solo como para asfalto. Rolos duplos de aço estão montados em uma estrutura rígida e acionados por motores a gasolina ou diesel. São conduzidos manualmente, girando-se a alavanca de direção da máquina. A frequência é em torno de 4000 vpm e a faixa da amplitude é de 0,018 a 0,020. A vibração é obtida através de eixos excêntricos localizados nos rolos ou montados na estrutura.



**Figura 9. Compactador de rolo**

Fonte: Serra Betume (2008)

#### e) Compactadores de rolos pé-de-carneiro

Compactadores de rolos pé de carneiro, de acordo com a Figura 10, são também conhecidos como compactadores de valas devido ao seu uso efetivo em valas e escavações. Estas máquinas se caracterizam por direção e operação hidráulica ou hidrostática. Acionados por motor diesel, os compactadores de valas são construídos para resistirem aos rigores da compactação confinada. Os rolos de valas são "skid-steer" ou equipados com direção articulada. A operação pode ser manual ou por controle remoto.

Unidades com grandes excêntricos produzem força de impacto e amplitude altos (para compactadores de rolos), o que é apropriado para solos coesivos. Os ressaltos do rolo produzem uma ação de amassamento no solo. Usa-se estas máquinas para alta produtividade.



**Figura 10. Compactador de rolo pé-de-carneiro**

Fonte: Serra Betume (2008)

#### f) Rolo Pneumático

Estes rolos, de acordo com a Figura 11, são equipados com 7 a 11 pneus e com as rodas dianteiras e traseiras alinhadas. Com um rolo de natureza estática, a força de compactação é alterada pela adição ou remoção de peso no lastro, em forma de água ou areia. Os limites de peso variam de 10 a 35 toneladas. O esforço de compactação é por pressão e amassamento, principalmente com rolo de acabamento asfáltico. A pressão sobre os pneus pode ser diminuída em algumas máquinas, durante a operação, para ajustar a pressão de contato com o solo para diferentes condições de trabalho.



**Figura 11. Compactador de rolo pneumático**  
Fonte: Pesa (2008)

#### 4.1.6.1 Equipamentos recomendados para solos coesivos

A argila é coesiva, suas partículas se aderem umas às outras. Então, uma máquina com uma força de alto impacto é necessária para golpear o solo e forçar a saída do ar, organizando as partículas. Um compactador de percussão, de acordo com as Figuras 12 e 13, é a melhor escolha, ou compactador de rolo vibratório pé-de-carneiro, de acordo com a Figura 12, se for necessária maior produção. As partículas precisam ser comprimidas para compactar.



**Figura 12. Compactador de rolo vibratório pé-de-carneiro**  
Fonte: Wikipédia (2008)



**Figura 13. Compactador de percussão**

Fonte: Wikipédia (2008)

#### 4.1.6.2 Equipamentos recomendados para solos granulares

Como os solos granulares não são coesivos e as partículas requerem uma agitação ou ação vibratória para movê-las, placas vibratórias (unidirecionais) é a melhor escolha.

Placas Reversíveis e Rolos Vibratórios Lisos, de acordo com a Figura 14, são apropriados para o trabalho de produção. Partículas de solo granular respondem a frequências diferentes (vibrações), dependendo do tamanho da partícula. Quanto menor a partícula, maior a frequência necessária para movê-la. Se forem compactar solos com partículas maiores, deve-se utilizar equipamento maior para obter frequências mais baixas e forças de compactação maiores.



**Figura 14. Compactador com placas reversíveis e rolos vibratórios lisos**

Fonte: Wikipédia (2008)

### **4.1.7 Solos Heterogêneos**

Normalmente, os solos são misturas de argila e materiais granulares, tornando mais difícil a seleção do equipamento de compactação. É uma boa idéia escolher a máquina apropriada pela porcentagem maior na mistura do solo. Um teste do equipamento pode ser exigido para identificar a melhor máquina para o trabalho.

#### **4.1.7.1 Altura de compactação e desempenho da máquina**

Altura de compactação (espessura da camada do solo) é um fator importante que afeta o desempenho da máquina e o custo de compactação. Equipamentos dos tipos: vibratório e compactador de percussão compactam o solo em uma mesma direção: do topo para o fundo e do fundo para o topo. Como a máquina golpeia o solo, o impacto se transmite pela superfície dura abaixo e então retorna à superfície. Isto coloca todas as partículas em movimento e ocorre a compactação.

Como o solo se torna compactado, o impacto passa a ter uma menor distância para atravessar. Mais força retorna à máquina, fazendo-a erguer-se mais do solo em seu ciclo de golpes. Se a camada a ser compactada é muito profunda, a máquina vai levar mais tempo para compactar o solo e uma camada intermediária ficará sem ser compactada. Com o excesso de compactação, eventualmente, aparecerão rachaduras, reduzindo a densidade, este é um desperdício de homens-hora e aumento desnecessário do uso da máquina.

## **4.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**

MASSAD (2003) afirma que vários tipos de ensaios, que se dividem em Ensaio de Campo, e de Laboratório, como o ensaio de Proctor, introduzido, no Brasil, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, que apresenta diversas formas e alternativas à realização do ensaio e outros, para cada um deles especifica-se o tipo de solo e sua forma de compactação adequada.

### **4.2.1 Ensaio de Proctor**

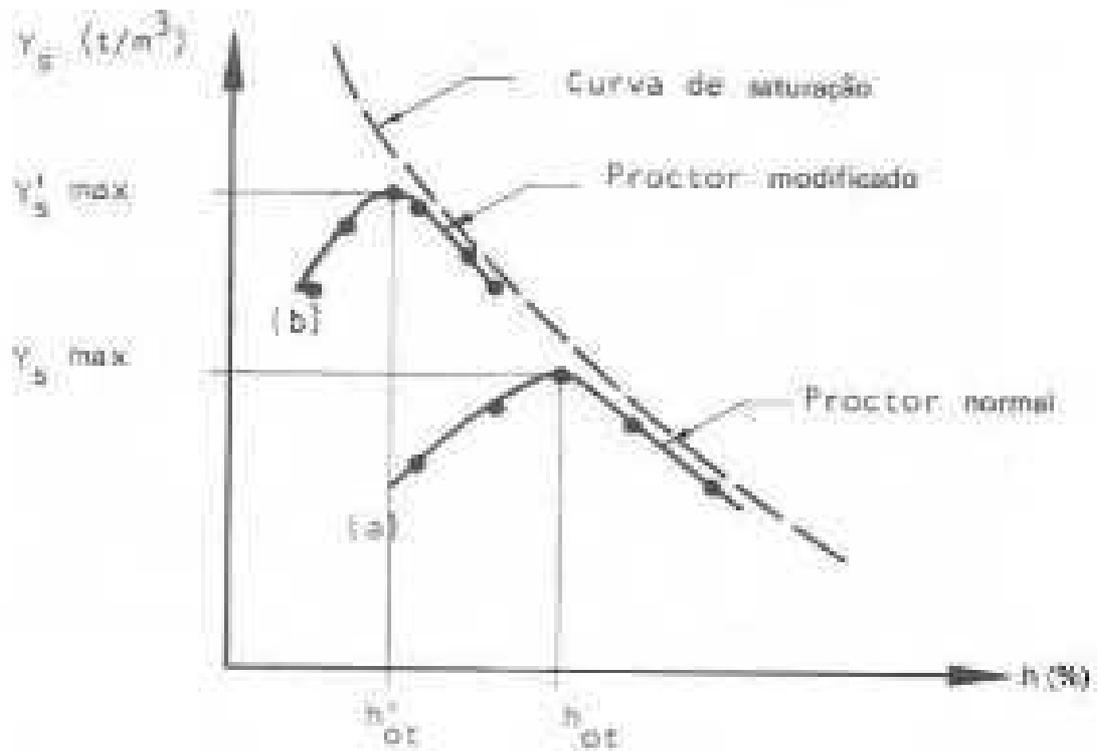
Além disso, MASSAD (2003) comenta que, no final da década de 1930, Porter, da Califórnia Division Of Highways, EUA, desenvolveu um método para a determinação do ponto ótimo de compactação dos solos, o ponto de máxima compactação. Para ele, o

resultado da compactação era a redução do volume de ar dos vazios, concluindo que ela era uma função da umidade dos solos.

Proctor aprimorou os trabalhos já existentes em sua época e tornou-se um nome de referência na Engenharia Civil, especialmente na compactação do solo.

Para ele, uniformizar bem a umidade do solo é ponto extremamente importante no resultado da compactação. Para os dados obtidos com o Ensaio de Proctor, desenha-se a curva de compactação, que consiste na representação da densidade seca em função da umidade.

Geralmente, associa-se uma reta aos pontos ascendentes do ramo seco, outra aos pontos descendentes do ramo úmido e unem-se as duas por uma curva parabólica.



**Gráfico 2. Curva de Compactação pelo método de Proctor**

Fonte: Wikipédia (2008)



**Figura 15. Ensaio de Proctor**

Fonte: Decfct (2008)



**Figura 16. Equipamento do Ensaio de Proctor**

Fonte: Decfct (2008)

#### **4.2.2 Energias de compactação**

Segundo SOUSA PINTO (2006), a densidade seca máxima e a umidade ótima determinada no ensaio Normal de Compactação, de acordo com as Figuras 15 e 16, para cada tipo de solo estabelece-se uma energia a ser aplicada, sendo que nos solos ocorrem tensões divididas ao peso próprio e às cargas aplicadas. Dividindo-se os valores, tem-se o considerável para cada compactação. Exemplo: quando a superfície do terreno é horizontal a certa profundidade seja normal ao plano.

### 4.2.3 Tipos de compactação em laboratório

MASSAD (2003) salienta que existem diversas forças de energia para a compactação e podem ser obtidas com cilindros, situações em que o único parâmetro diferenciador passa a ser o número de golpes: 26 para Proctor Normal com uma altura de 30,5cm e um peso de 2,5kg com 3 camadas, e de 26 para a Energia Intermediária com uma altura de 45,7cm e peso de 4,5kg com 5 camadas, e 55 para o Proctor Modificado com altura de 45,7cm e peso de 4,5kg com 5 camadas.

Além disso, o uso de equipamentos de pequeno porte visa compactar um solo com um menor dispêndio de tempo e com menores quantidades de solo.

São quatro os principais tipos de compactação em laboratório:

- Por impacto: em que, para cada uma, dê um certo número de camadas. Deixa-se cair um peso de altura constante;
- Por pisoteamento: que, para moldes de 90 cm, consiste na aplicação de um esforço constante, através de um soquete com haste de 1,2 cm de diâmetro e mola, a força da mola pode ser ajustada;
- Por vibração: aplicável a solos granulares, em que se coloca uma sobrecarga no topo do solo, dentro do molde, ao mesmo tempo em que se vibra o conjunto;
- Estática: feita com a aplicação de uma força a uma haste, acoplada a um disco, com diâmetro pouco inferior ao do molde de compactação.

## 4.3 COMPACTAÇÃO DE CAMPO

### 4.3.1 Escolha da área de empréstimo

A pesquisa da área de empréstimo começa com a execução de furos de sondagem, em geral a trado, que são, freqüentemente, complementados com a abertura de poços, visando não só a cubagem do material disponível, como também à coleta de amostras, para a sua identificação tátil e visual e a execução dos primeiros ensaios de laboratório.

### 4.3.2 Escavação, transporte e espalhamento do solo

A escavação visa à retirada de solo de determinado terreno para se alcançar a profundidade desejada ou cota para utilização de determinada região. É um serviço

indispensável a qualquer obra, seja lá qual for sua necessidade e tem as seguintes características:

- quantidade de solo a ser removido;
- local a ser escavado;
- dimensão da escavação;
- tipo de solo a ser escavado;
- destinação do material retirado.

O transporte é feito por equipamento adequado e necessário, de acordo com a obra realizada, e ainda, com a quantidade de material a ser retirada na escavação. O espalhamento pode ser feito com diversos equipamentos, como a pá-carregadeira, retro-escavadeira, moto niveladora e *scraper* que corta o material de empréstimo horizontalmente, quando sua lâmina é abaixada na posição do corte. Depois, com sua lâmina levantada, ele transporta o material até a zona de aterro, onde lança as camadas horizontalmente, com sua caçamba abaixada na posição de disposição. Tais camadas devem ter de 15 a 30 cm de espessura quando soltas.

#### **4.4 ESPECIFICAÇÕES DA COMPACTAÇÃO**

Geralmente, parâmetros de desempenho da compactação são fornecidos de duas maneiras em um projeto de construção:

- Especificação do método - instruções detalhadas especificam o tipo de máquina, camada de compactação, número de passadas, velocidade da máquina e teor de umidade. Uma "receita" é dada como parte das especificações de trabalho para realizar a compactação necessária. Este método é antiquado, pois a tecnologia da máquina há muito tempo já superou as exigências comuns da especificação do método.

- Especificação do resultado final - engenheiros indicam as exigências finais para a compactação, dando, assim, ao empreiteiro, muito mais flexibilidade na escolha do melhor e mais econômico método para alcançar o resultado requerido. Felizmente, esta é a tendência, permitindo ao empreiteiro tirar proveito da mais recente tecnologia disponível.

Entretanto, normalmente, os valores de referência do solo compactado, que deverão ser alcançados na obra, são expressos em um percentual da densidade. Estes valores são determinados antes de se executar qualquer compactação para se definir as especificações da compactação.

SOUSA PINTO (2006) afirma que o adensamento é o fenômeno pelo qual os recalques ocorrem com expulsão da água do interior dos vazios do solo. Muito útil para o conhecimento deste fenômeno é a analogia mecânica de Terzaghi, conforme apresentada

por Taylor. Consideramos que a estrutura sólida do solo seja semelhante a uma mola, cuja deformação é proporcional à carga sobre ela aplicada, O solo saturado seria representado por uma mola dentro de um pistão cheio de água, no êmbolo, do qual existe um orifício de reduzida dimensão, pelo qual a água só passa lentamente.

## 4.5 CONTROLE DE COMPACTAÇÃO EM CAMPO

Para determinar se a compactação em campo é adequada, foram desenvolvidos vários métodos para testar a densidade e a umidade da área a ser compactada. Estes valores são comparados com os resultados obtidos em laboratório (o mais comum é o Teste de Proctor), obtendo-se assim o Grau de compactação.

Apresentam-se alguns testes de campo comuns para determinar, no próprio local, se as densidades de compactação estão sendo alcançadas.

### 4.5.1 CONTROLE DA UMIDADE EM CAMPO

#### 4.5.1.1 Teste de mão

É um teste rápido que pode determinar a umidade do solo. De acordo com a Figura 17, devemos apanhar um punhado de terra, aperte em sua mão, abra a sua mão. Se a terra está pulverulenta e não retiver a forma feita por sua mão, ela é muito seca.

Se a terra é moldável e se fragmenta em apenas dois pedaços quando derrubada, tem a quantidade certa de umidade para uma compactação adequada.

Se a terra é plástica em sua mão, deixa poucos vestígios de umidade em seus dedos e permanece em um pedaço quando derrubada, tem muita umidade para compactação.



**Figura 17. Teste de mão**

Fonte: Static (2008)

#### 4.5.1.2 Teste umidímetro ou sistema “speed”

Segundo estudos do GEOSERV, este teste tem o objetivo de determinar a umidade do solo pelo emprego do aparelho “*speed*” (Figuras 18, 19, 20). A umidade é determinada pela pressão do gás resultante da ação da água contida na amostra sobre o carbureto de cálcio que se introduz no aparelho. Este processo é mais aconselhável para solos arenosos.

Descrição do Ensaio:

Supõe-se que a amostra tenha certa porcentagem de umidade. A este valor suposto correspondente de uma tabela e o peso da amostra que será utilizada no ensaio.

A amostra deverá ser pesada em uma balança do próprio conjunto “*speed*” e, a seguir, colocada na câmara do aparelho. Introduce-se na câmara duas esferas de aço e em seguida duas ampolas de carbureto de cálcio, deixando-as deslizar com cuidado pelas paredes da câmara, a fim de evitar que se quebrem. Fecha-se o aparelho, agitam-se repetidas vezes para quebrar as ampolas, assim o manômetro assinala um aumento de pressão.

Com os valores da pressão manométrica e do peso da amostra, recorre-se a uma tabela própria do conjunto “*speed*”, nela se obtém o valor da umidade expressa em porcentagem relativa ao peso total da amostra úmida. (GEOSERV)



**Figura 18. Equipamento Speed**

Fonte: Geotecnia (2008)



**Figura 19. Aparelho do Equipamento Speed**  
 Fonte: Geotecnia (2008)



**Figura 20. Balança do Equipamento Speed**  
 Fonte: Geotecnia (2008)

#### 4.5.1.3 Método da Frigideira

Este método, por mais simples que possa parecer, é um dos mais usados em campo para a realização do controle de compactação. Utiliza-se uma frigideira, de acordo com a Figura 21, para aquecer determinada porção de material extraído do local a que se pretende compactar, usando, para tanto, um fogareiro simples para aquecer a mesma, verificando visualmente o teor de umidade da amostra de solo, e o resultado deverá ser um solo seco, sem umidade, a fim de obter o resultado desejado para a compactação.



**Figura 21. Frigideira e fogareiro**

Fonte: Wikipédia (2008)

#### 4.5.1.4 Método do álcool

Aparelhagem: balança sensível a 0.01 g, com capacidade para 200 g, cápsula metálica de fundo perfurado com suporte, espátula de aço com cerca de 8 cm de comprimento e 2 cm de largura, álcool etílico e peneira nº 10 ( 2,0 mm).

Descrição de Ensaio:

- Toma-se cerca de 50 g de solo que foi passado na peneira;
- Pesa-se a cápsula com suporte, onde o valor obtido chamará P1;
- Coloca-se a amostra do solo na cápsula, espalhando-a em toda superfície.
- Pesa-se o conjunto, o valor obtido chamará P2.
- Despeja-se o álcool na amostra, revolvendo-a com a espátula, inflama-se a seguir, repetindo a operação por mais duas vezes.
- Obtém-se o resultado da amostra por formulas da umidade, chamada de Ph (  $Ph=P2 - P1$ ), dentre outras formulas do método. (Geoserv)

#### 4.5.2 Controle da Densidade em Campo

##### 4.5.2.1 Teste do cone de areia

Um pequeno buraco de 6”(15cm) por 6”(15cm) de profundidade é cavado no material compactado a ser testado. O material é removido e pesado, então é seco e pesado novamente para determinar o seu teor de umidade.

A umidade do solo é apresentada como uma porcentagem. O volume específico do buraco é determinado pelo seu enchimento com areia seca proveniente de um dispositivo de jarro e cone. O peso seco do solo removido é dividido pelo volume de areia necessária para encher o buraco. Isto nos fornece a densidade do solo compactado em libras por pé cúbico.

Esta densidade é comparada à densidade máxima de Proctor obtida anteriormente, o que nos dá a densidade relativa do solo que acabou de ser compactado.

#### **4.5.2.2 Densidade nuclear**

Medidores de Densidade Nuclear é um modo rápido e bastante preciso de se determinar densidade e teor de umidade. O medidor usa uma fonte de isótopo radioativo (Césio 137) na superfície do solo ou uma sonda colocada no solo (transmissão direta).

A fonte do isótopo emite fótons (normalmente raios Gama) que irradiam de volta aos detectores do medidor no fundo da unidade. Solo denso absorve mais radiação que solo solto e as leituras refletem a densidade global. O teor de água pode também ser lido, tudo dentro de poucos minutos.

#### **4.5.2.3 Teste nuclear**

Este método de teste de campo é um desenvolvimento muito recente que substitui o teste de densidade do solo. Dureza do solo é a relação da força para o deslocamento. O teste é feito por uma máquina que envia vibrações para dentro do solo e então mede a deflexão das vibrações pelo solo. Este é um método muito rápido e seguro como teste de dureza do solo. Dureza do solo é uma propriedade de engenharia não exatamente como teor de secos e teor de água. Este método está atualmente sendo pesquisado e testado pela Administração de Estradas Federais.

#### **4.5.2.4 Método de Hilf**

Segundo MASSAD (2003), Hilf debruçou-se sobre a questão da umidade para o ponto de compactação e encontrou uma resposta, que constitui o Método de Hilf e possibilita o cálculo preciso do GC e uma estimativa, e que passa a descrever sobre o assunto. As hipóteses básicas, condições para que o método funcione, são que a camada a ser liberada seja homogênea e que o seu teor de umidade esteja uniformemente distribuído, isto é, seja constante. Para ele, o seu método é uma afinidade entre a curva de Hilf e a de Proctor, supondo que o solo compactado esteja no ramo seco da curva de compactação. Então torna-se cada quarto, a partir do segundo, e adiciona-se uma certa quantidade de água. Assim, a curva de Hilf apresenta um pico, que corresponde ao ponto ótimo de Proctor. Está aí a chave para a solução do problema.

Determina-se no campo a massa específica aparente  $\rho_a$  do aterro compactado sem se preocupar em determinar a sua umidade  $u$ . Depois, acrescenta-se água ou seca-se a amostra em quantidades certas e calcula-se qual a porcentagem de  $z$  dessa água acrescida ou retirada, em relação ao peso úmido inicial da amostra com a umidade do aterro  $u$ .

De cada amostra determina-se a massa específica aparente, moldando-se corpos de prova compactados no cilindro de Proctor, segundo o ensaio normal de compactação.

O método de Hilf (Jack Hilf – 1950) é utilizado na compactação de barragens de terra. Ele permite o conhecimento do grau de compactação  $G_c = [y_s(\text{campo}) / y_s(\text{max lab.})] \cdot 100$  e do desvio da umidade ótima, sem a necessidade de traçar a curva de compactação do solo, ou seja, sem a necessidade de secar o solo. O teor da umidade é calculado apenas como verificação posterior.

## 4.6 COMPORTAMENTO DE SOLOS COMPACTADOS

MASSAD (2003) salienta que uma vez compactado, o solo comporta-se como um solo insaturado, sobre adensado, com pressões de preadensamento entre 35 e 50 kPa, imprimidas pelo rolo compactador.

Em termos de permeabilidade, apresentam-se com uma mesma energia de compactação, aumentando-se a umidade de moldagem, a permeabilidade diminui, no ramo úmido ocorre um pequeno aumento. A razão deste comportamento reside no fato de solos finos, compactados no ramo seco, formarem agregações, com grandes vazios entre si, água percola com muita facilidade, no ramo úmido as agregações tendem a se desfazer, ou estão muito próximas, e a água tem que percolar pelos poros intra-agregações.

Assim, no ponto ótimo ou acima dele, a permeabilidade é menor do que no ramo seco.

## 5 CONCLUSÃO

Com o intuito de promover uma reflexão e uma continuação dos estudos sobre o tema apresentado, cabe agora tecer algumas considerações finais a respeito da compactação do solo. Aludidas considerações serão reportadas com embasamento nas principais conclusões tomadas em cada capítulo desta monografia, procurando fornecer ao leitor uma visão ampla do que foi explanado.

Tendo em vista o objetivo principal deste trabalho, qual seja: “a plena e satisfatória contribuição dos estudos na comparação dos diferentes tipos de solo e total controle do campo compactado”, o estudo propiciou um panorama detalhado acerca da compactação do solo.

Restou claro que o solo é um recurso finito, limitado e não renovável, face às suas taxas de degradação potencialmente rápidas, que têm vindo a aumentar nas últimas décadas (pela pressão crescente das atividades humanas) em relação às suas taxas de formação e regeneração extremamente lentas.

Os processos de degradação do solo constituem um grave problema, com conseqüências ambientais, sociais e econômicas significativas. À medida que a população aumenta, a necessidade de proteger o solo, como recurso vital, sobretudo para a produção alimentar, também aumenta.

O solo desempenha uma grande variedade de funções vitais, de caráter ambiental, ecológico, social e econômico, constituindo um importante elemento paisagístico, patrimonial e físico para o desenvolvimento de infra-estruturas e atividades humanas.

Ao se analisar os vários tipos de solos, verificou-se que a constituição de um solo determina o melhor método de compactação a ser utilizado, pois cada tipo de solo se comporta de modo diverso com respeito à densidade máxima e umidade ótima. Deste modo, cada tipo de solo tem suas exigências e controles próprios e individuais tanto no campo como para fins de testes.

Foi constatado, também, no desenvolvimento da pesquisa, que os tipos de solo são comumente classificados pelo tamanho do grão, determinado pela passagem do solo através de uma série de peneiras para separar os diferentes tamanhos de grão, que se trata da análise granulométrica.

As principais ameaças sobre o solo são a erosão, a mineralização da matéria orgânica, redução da biodiversidade, a contaminação, a impermeabilização, a compactação, a salinização, o efeito degradante das cheias e dos desabamentos de terras. A ocorrência simultânea de algumas destas ameaças aumenta os seus efeitos, apesar de haver

diferentes intensidades regionais e locais (os solos não respondem todos da mesma maneira aos processos de degradação, dependendo das suas próprias características).

Foi verificado que a compactação do solo é possível por meios mecânicos ou manuais, que dependerão de conhecimento de cada tipo específico de solo, bem como o seu grau de umidade, pois é da umidade que depende a compactação.

Em suma, para a possibilidade de compactação, deve-se, ainda, expulsar o ar que se encontra comprimido nas camadas do solo, a fim de obter o melhor resultado possível. No entanto, a compactação mecânica só é possível graças a técnicas de compactação desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos, dentre elas a invenção dos rolos compactadores e dos métodos de controle da compactação.

Em alguns tipos de solos, é necessário um estudo mais detalhado do material da área a ser compactada, pela complexidade da composição daquele solo, empregando-se variada tecnologia para tanto.

Para determinação experimental da correlação entre a massa específica aparente seca, de um aterro e sua umidade, e a energia utilizada para a compactação do mesmo, utiliza-se o chamado ensaio de compactação, ideado por Proctor. Por esse ensaio, chega-se à conclusão de que há uma umidade ótima, para compactar o solo, para cada energia de compactação (peso do rolo compressor e n. de passadas por camadas). A essa umidade corresponderá uma densidade máxima do solo atingida pela sua compactação.

Diante do exposto, é possível se afirmar, então, que o objetivo deste estudo foi alcançado, acreditando-se que o trabalho venha a servir de importante instrumento para aqueles que desejarem dar continuidade a uma pesquisa com o referencial teórico e os instrumentos aqui utilizados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos Solos*. Volume I, Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.S., 1975.

CIVILNET. **Mecânica dos solos**. Disponível em: <[civilnet.com](http://civilnet.com)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

DECFACT. Disponível em: <[www.dec.fct.unl.pt](http://www.dec.fct.unl.pt)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

DNER. **Manual de pavimentação**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1996.

GEOTECNIA. **Equipamento Speed**. Disponível em: <[www.geotecnia.ufjf.br](http://www.geotecnia.ufjf.br)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

MASSAD, Faíçal. **Obras de Terra-Curso Básico de Geotécnica**. Editora Oficina de Textos, 2003.

PESA. **Compactador de Rolo Pneumático**. Disponível em: <[www.pesa.com.br](http://www.pesa.com.br)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

PINTO, Carlos Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 3. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

REVISTA GEOSERV. Serviço de Geotécnica e Construção LTDA. Setor Coimbra – Goiás, 2008.

SERRA BETUME. Disponível em: <[www.serrabetume.com.br](http://www.serrabetume.com.br)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

STATIC. Disponível em: <[www.static.hsw.com.br](http://www.static.hsw.com.br)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

UNIÃO LOCADORA. **Compactador**. Disponível em: <[www.uniaolocadora.com.br](http://www.uniaolocadora.com.br)>. Acesso em: 12 fev. 2008.

WIKIPÉDIA. **Compactação de solos**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Compacta%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_solo](http://pt.wikipedia.org/wiki/Compacta%C3%A7%C3%A3o_do_solo)>. Acesso em: 12 fev. 2008.