



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

LINEKER TAVARES DA COSTA

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO E DO PESO ESPECÍFICO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM UM ANO DE ATERRAMENTO  
DISPOSTOS EM ATERRO SANITÁRIO

CAMPINA GRANDE – PB

JUL/2019

LINEKER TAVARES DA COSTA

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO E DO PESO ESPECÍFICO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM UM ANO DE ATERRAMENTO  
DISPOSTOS EM ATERRO SANITÁRIO

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal  
de Campina Grande – UFCG como  
parte dos requisitos necessários  
para conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

VERUSCHKA ESCARIÃO DESSOLES MONTEIRO, DSc<sup>a</sup>.

Orientadora.

CLÁUDIO LUIS DE ARAÚJO NETO, MSc.

Coorientador.

CAMPINA GRANDE – PB

JUL/2019

LINEKER TAVARES DA COSTA

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO E DO PESO ESPECÍFICO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM UM ANO DE ATERRAMENTO  
DISPOSTOS EM ATERRO SANITÁRIO

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal  
de Campina Grande – UFCG como  
parte dos requisitos necessários  
para conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

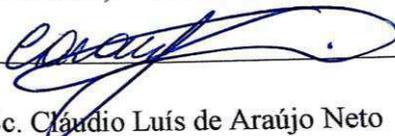
Aprovado em: 03 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup>. DSc.<sup>a</sup>. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro

(Orientadora) – UFCG/UAEC



Prof. MSc. Cláudio Luís de Araújo Neto

(Coorientador) – UFCG/UAEC



Eng. Renan Ítalo Leite Gurjão

(Examinador Externo) - UFCG



Prof. DSc. Márcio Camargo de Melo

(Examinador Interno) - UFCG/UAEC

Dedico aos meus pais, meus irmãos e  
Holi, com muita gratidão e amor.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus por ter proporcionado essa grande experiência em minha vida, pela saúde, força de vontade e por todo auxílio durante todo este trajeto.

Aos meus pais, Josenilson Tavares e Valdenice Augusto, por sempre estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis, e que sempre me ensinaram os princípios básicos de caráter, amor e respeito; a eles toda minha admiração.

Aos meus irmãos, Lorrana, Lievem e minha Ray pela companhia no convívio e apoio, sempre confiando na minha capacidade.

Ao meu tio Fábio Augusto, por todo incentivo que me proporcionou para estudar durante toda a minha vida, sendo um dos modelos a seguir.

A minha namorada Holindina, que estava sempre me acompanhando com toda paciência e palavras de incentivo, para que tudo ocorresse bem.

Aos meus orientadores, Prof<sup>ª</sup>. Veruschka e Prof. Cláudio, por todo conhecimento prático e teórico, necessários para elaboração deste trabalho.

A todos os professores e funcionários administrativos, da instituição UFCG, que contribuíram diretamente e indiretamente para que esta etapa na minha vida viesse a ser concluída.

A todos que fizeram parte, muito obrigado por tudo.

## RESUMO

O aumento das exigências para o entendimento de parâmetros de resistência e estabilidade dos maciços em aterros sanitário requer dos responsáveis técnicos um maior nível de conhecimento acerca das propriedades físicas e mecânicas dos materiais envolvidos. O objetivo deste trabalho é analisar a composição gravimétrica e o peso específico dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) depositados no Aterro Sanitário em Campina Grande-PB (ASCG) com um ano de aterramento. A metodologia deste trabalho compreendeu na realização da composição gravimétrica e do peso específico *in situ* dos resíduos com um ano de aterramento. Para isso, foi coletada uma amostra de RSU em área localizada entre as Células 1 e Células 2, referente a resíduos depositados no ano de 2018. Esses resíduos foram pesados e quarteados para determinação da composição gravimétrica; na cava onde os materiais foram escavados foi determinado o peso específico *in situ*. Para a composição gravimétrica dos resíduos foi encontrado valor de 66,73% de materiais mistos depositados no ASCG, sendo possivelmente composto por matéria orgânica e por solo. Apenas 4,88% dos resíduos coletados é composto por matéria orgânica, nesse sentido, sugere-se que quanto maior a percentagem de matéria orgânica, maior será a influência na compressibilidade do aterro e uma menor resistência ao cisalhamento do maciço. O resultado do peso específico encontrado foi de 19,375 kN/m<sup>3</sup>, pressupõe-se que o aterramento dos resíduos aumenta o valor do peso específico ao longo do tempo e que o acréscimo desse parâmetro pode ter relação direta no incremento de resistência e estabilidade do aterro, tendendo a aumentar a resistência ao cisalhamento dos RSU.

## ABSTRACT

The increase of the requirements for the understanding of resistance and the stability of the landfill massifs requires that the technical personnel have a higher level of knowledge about the physical and mechanical properties of the materials involved. The objective of this work is to analyze the gravimetric composition and the specific gravity of the Urban Solid Waste (USW) deposited in the Landfill in Campina Grande, PB with a year of grounding. The methodology of this work comprised the gravimetric composition and the apparent weight in situ of the waste with one year of grounding. For this, a sample of RSU was collected in an area between cells 1 and cells 2, relating to the deposits in the year 2018. These residues were heavy and quartered to determine the gravimetric composition, in the excavation where the materials excavated were determined the specific weight in situ. For the gravimetric composition of the residues it was found a value of 66,73% of mixed material deposited in the ASCG, maybe it was composite of organic matter and soil. Only 4,88% of the collected residues are composed of organic matter. In this sense, the higher is the percentage of organic matter the higher will be the influence on the compressibility of the landfill and a lower shear strength of the massive. The results of the specific gravity was 19,375 kN/m<sup>3</sup>, indicates that the grounding of the waste increases the value of its specific weight over time and that the additions of these parameters have directly related to the increase of resistance and stability of the embankment, leading to increase the shear strength of the RSU.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição gravimétrica dos RSU em Campina Grande – PB.....	16
Figura 2 – Peso específico para os resíduos sólidos urbanos.....	21
Figura 3 – Fluxograma da pesquisa.....	22
Figura 4 – Localização do Aterro sanitário em Campina Grande-PB.....	22
Figura 5 – Células do Aterro sanitário em Campina Grande-PB.....	23
Figura 6 – Localização do ponto de coleta dos RSU no ASCG-PB.....	24
Figura 7 – Localização do ponto de coleta dos RSU no ASCG – PB.....	25
Figura 8 – Coleta dos RSU em Campina Grande – PB.....	25
Figura 9 – Materiais espalhados para segregação.....	26
Figura 10 – Segregação do RSU.....	27
Figura 11 – Pesagem do material.....	27
Figura 12 – Acomodação da manta sintética na cava.....	28
Figura 13 – Cubagem da cava.....	29
Figura 14 – Caracterização gravimétrica do ASCG– PB.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição gravimétrica dos resíduos em diferentes cidades.....	15
Tabela 2 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.....	15
Tabela 3 - Composição dos resíduos urbanos quanto ao tempo em estudos realizados no Aterro Sanitário em Campina Grande-PB.....	17
Tabela 4 - Determinação do peso específico dos RSU.....	17
Tabela 5 - Valores de Peso específico encontrados na literatura.....	20
Tabela 6 - Determinação do peso específico dos resíduos.....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E NOMENCLATURAS

ASCG	Aterro Sanitário em Campina Grande – PB
ASTM	American Society for Testing and Materials
CG	Composição gravimétrica
GGA	Grupo de Geotecnia Ambiental
ha	Hectare
IBEAS	Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LGA	Laboratório de Geotecnia Ambiental
PaqTcPB	Fundação Parque Tecnológico da Paraíba
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos
Pt	Peso total da amostra
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
t	Toneladas
tRSU	Toneladas de Resíduos Sólidos
UFPG	Universidade Federal de Campina Grande
Vt	Volume total da amostra.
$\gamma$	Peso específico

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	12
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ATERRADOS.....	13
3.2.1 Composição Gravimétrica dos resíduos .....	14
3.2.2 Peso específico .....	18
4 METODOLOGIA.....	21
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA .....	22
4.2 COLETA E AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS .....	24
4.3 – COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS .....	26
4.4 – PESO ESPECÍFICO <i>IN SITU</i> .....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5.1 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA.....	30
5.2 PESO ESPECÍFICO <i>IN SITU</i> .....	31
6 CONCLUSÕES .....	33
REFERENCIAS .....	34



## 1 INTRODUÇÃO

A disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários é a prática mais comum no mundo, em função dos custos reduzidos e da disponibilidade ainda razoável de áreas para sua implantação, principalmente no Brasil (CASTILHOS *et al.*, 2010).

Atualmente um dos principais métodos de armazenamento de resíduos sólidos é a disposição em novos aterros ou o alteamento das células de aterro já existentes. Assim, há um aumento da capacidade de armazenamento de resíduos nesse espaço e, conseqüentemente, o tempo de vida útil do aterro (REMÉDIO, 2014).

Outro aspecto bastante relevante nos aterros é a composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo observado uma grande heterogeneidade e podendo variar em tamanhos, além de existir uma variação dos percentuais dos principais componentes dos resíduos urbanos, em decorrência do nível econômico de cada localidade. (MACHADO, 2005).

Por se tratar de uma obra de engenharia, é de grande relevância que se conheça as características e propriedades dos materiais utilizados para a sua construção, em especial as propriedades geomecânicas dos RSU, como a resistência ao cisalhamento e compressibilidade, as quais recebem influência da composição dos resíduos e do comportamento individual de cada elemento (BORGATTO, 2010).

Assim, parâmetros como o peso específico e umidade dos resíduos estão diretamente relacionados a composição gravimétrica desse resíduo. Logo os RSU com maior ou menor grau de decomposição influenciam na compressibilidade dos maciços e na geração de líquidos internos, sendo que esses fatores afetam sobretudo a segurança e estabilidade dos aterros.

Nesse sentido, percebe-se a necessidade de desenvolver pesquisas relacionadas a aspectos que afetam diretamente o comportamento mecânico dos RSU depositados em aterros sanitários.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a composição gravimétrica e o peso específico dos resíduos sólidos urbanos com um ano de aterramento depositados no aterro sanitário em Campina Grande-PB.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a composição gravimétrica dos RSU em Campina Grande, comparando com valores da literatura técnica.
- Determinar o peso específico *in situ* dos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário em Campina Grande com um ano de aterramento.
- Verificar qualitativamente a influência da composição gravimétrica e do peso específico dos resíduos *in situ* sobre a segurança e estabilidade do aterro.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo a Lei Federal Nº 12.305 (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos se dividem em alguns tipos, os tratados nesse trabalho são descritos como:

... material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p.2).

Já de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são definidos como: aqueles nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Entretanto, este trabalho tratará dos resíduos sólidos urbanos que por definição segundo o Art. 13º da Lei Federal Nº 12.305 (BRASIL, 2010), são resultantes das comunidades dos centros urbanos, que incluem atividades domésticas em residências urbanas e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana, sendo sua composição variável de população para população, dependendo da situação socioeconômica e das condições e hábitos de vida de cada um. Esses resíduos podem ser classificados das seguintes maneiras: Matéria orgânica, papel, papelão, plásticos, vidro, metais e outros (têxtil, óleos, resíduos de eletrodomésticos).

Segundo o Art. 6º da Lei Nº 11.445 (BRASIL, 2007) referente a Lei Nacional de Saneamento Básico há uma flexibilidade para o poder público considerar os resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços como resíduos sólidos urbanos.

Assim, foi elaborado em Campina Grande-PB o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos – PMGIRS - (ECOSAM, 2014) para atender a Lei Nº 12.305 (BRASIL, 2010), com o intuito de encontrar um diagnóstico da situação dos RSU gerados no município, sua origem, volume, caracterização e destinação final. Portanto, a elaboração do PMGIRS (ECOSAM, 2014) é condição para que os municípios tenham acesso a recursos federais para realizar o manejo dos resíduos sólidos urbanos gerados.

### **3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ATERRADOS**

As principais características dos resíduos sólidos são: Composição gravimétrica, composição volumétrica, peso específico, umidade, permeabilidade, compressibilidade e resistência ao cisalhamento. Tais características estão diretamente ligadas a hábitos da população, ao clima, estações do ano, e a níveis de desenvolvimento econômico local. Assim, populações com renda *per capita* mais alta tendem a produzir mais resíduos plásticos e têxteis devido ao alto consumo de produtos industrializados e baixa produção de matéria orgânica.

Visto isso, a determinação da composição física tem o intuito de mostrar as potencialidades econômicas dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e determinar todos os tipos de materiais recicláveis, bem como sua quantidade, obtendo-se dessa forma um

perfil desses resíduos e ainda fornecendo informações para a escolha do melhor e mais adequado sistema de tratamento e disposição final (OBLADEN *et al.* 2009).

Esse trabalho limita - se às análises da composição gravimétrica e determinação do peso específico *in situ* dos materiais depositados no ASCG com idade de um ano de aterramento.

### **3.2.1 Composição Gravimétrica dos resíduos**

A composição gravimétrica é o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra, variando de acordo com as características socioculturais da região (BOSCOV, 2008).

As características como, o crescimento populacional, padrões de consumo relacionado ao poder aquisitivo, hábitos alimentares, condições climáticas e sazonais de cada região, se existe ou não programas de reciclagem na região, são aspectos que estão diretamente ligados a composição gravimétrica dos RSU em um devido aterro (SONG *et al.*, 2013).

Segundo de Lamare Neto (2004) a composição gravimétrica torna-se um grande indício sobre o nível de renda de uma população devido a variações significativas nas porcentagens dos principais produtos de uma região para outra de uma mesma sociedade. Logo, é de se esperar que regiões com maior poder aquisitivo, apresente um menor percentual de matéria orgânica, devido ao consumo de alimentos semiprontos e apresente grande percentuais de vidro e plásticos devido ao grande consumo de industrializados.

Na Tabela 1 estão apresentadas as composições dos resíduos sólidos de várias cidades do mundo e do Brasil. Pode-se comprovar que a percentagem de matéria orgânica é maior em países menos desenvolvidos socioeconomicamente, se comparado com os países mais desenvolvidos. Segundo Zekkos *et al.* (2006) a maior percentagem de matéria orgânica irá influenciar em uma maior compressibilidade do aterro e uma menor resistência ao cisalhamento do maciço.

**Tabela 1:** Composição gravimétrica dos resíduos em diferentes cidades

Países (cidades)	Matéria Orgânica (%)	Papel/Papelão (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Metal (%)	Outros (%)
Estados Unidos	29	35,6	7,3	8,4	8,9	10,8
Japão	22,2	31,1	15,5	13,8	6,4	10,6
Reino Unido	23,4	33,9	4,2	14,4	7,1	17
Itália	42,1	22,3	7,2	7,1	3	18,3
Brasil (São Paulo)	64,4	14,4	12	1,1	3,2	4,9
Brasil (Salvador)	61,8	11,7	9,8	3,9	4,3	8,5
Brasil (Recife - 2000)	64	15	9,5	1,93	2,4	7,17
Brasil (Recife - 2007)	45,5	23,1	19,9	3,9	1,8	5,8

Fonte: Vital (2014)

Em uma visão geral, no Brasil o constituinte em maior percentual é a matéria orgânica, correspondendo à aproximadamente 50%. A Tabela 2 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil coletados no ano de 2008 (BRASIL, 2012).

**Tabela 2:** Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008

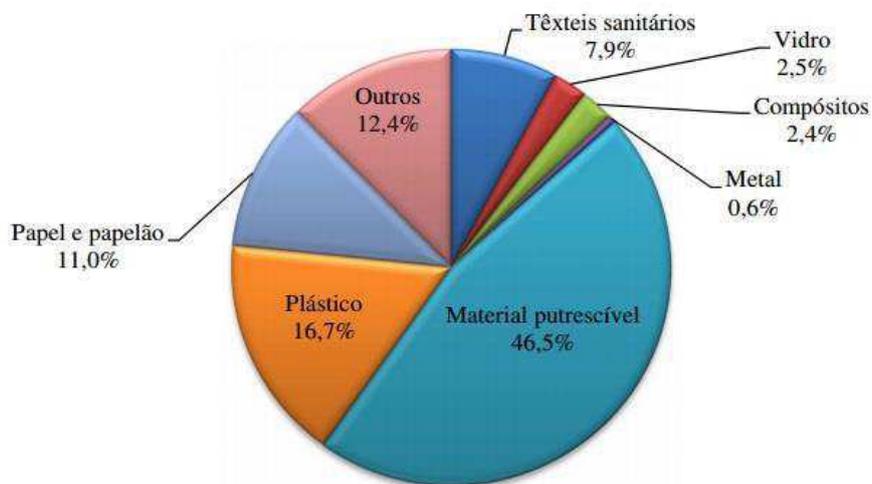
Resíduos	Participação (%)
Materiais recicláveis	31,9
Metais	2,9
Aço	2,3
Alumínio	0,6
Papel, Papelão e Compósitos	13,1
Plástico total	13,5
Plástico filme	8,9
Plástico rígido	4,6
Vidro	2,4
Matéria orgânica	51,4
Outros	16,6
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: BRASIL (2012, p. 9)

Na Figura 1, é apresentado a composição gravimétrica realizada no ano de 2015 em Campina Grande. Pode-se observar que o valor encontrado para o percentual de

matéria putrescível/orgânica é bem próximo ao encontrado para valores relativos à média nacional.

**Figura 1:** Composição gravimétrica dos RSU em Campina Grande– PB



Fonte: Dados da pesquisa (2015), Araújo Neto (2016)

Um ponto relevante nesta análise é a presença de 38,6% de materiais que podem ser considerados como fibrosos, que incluem os papéis e papelões (11,0%), plásticos (16,7%), têxteis sanitário (7,9%), compósitos (2,4%) e metais (0,6%). Para de Lamare Neto (2004) as fibras desempenham papel fundamental no comportamento mecânico do aterro, sendo comprovado no aumento dos parâmetros de resistência e das tensões de cisalhamento devido às forças de tração dessas fibras. Em contrapartida, o aumento de materiais leves promove a diminuição do peso específico dos RSU.

A separação dos resíduos sólidos aterrados para composição gravimétrica é distinta quando se comparado a separação dos resíduos na fonte geradora, uma vez que não existe norma nacional para esse fim.

Assim, a separação de cada componente de resíduos aterrados é guiada por adaptações da norma alemã GDA Empfehlungen E1-7 (DGGT,1994), a qual divide os componentes individuais de acordo com suas características similares, com referência ao comportamento mecânico e estabilidade bioquímica nos seguintes grupos:

- Peças Grande: Substâncias residuais de grande porte, que são compostas por vários componentes como móveis, colchões etc.;
- Papel/Papelão: Substância compostas por papel ou fibras semelhantes ao papel, como papelão;

- Plásticos filmes: Substâncias compostas por substâncias sintéticas macias, como embalagens plásticas macias, lâminas plásticas, têxteis, borracha macia etc.;
- Plásticos duros: Despejos que se componham basicamente de substâncias sintéticas duras, como embalagens plásticas duras, embalagens plásticas rígidas, copos de iogurtes, garrafas PET, plásticos rígidos, couro duro, borracha rígida etc.;
- Metais: Metais ferrosos e não ferrosos.;
- Minerais: Despejos de substâncias minerais ou que apresentem um comportamento mecânico ou biológico similar como vidro, cerâmica, pedra, solo etc.;
- Madeira: Despejo de peças de madeira em geral;
- Material Misto: Despejo com granulometria igual a 20mm, que são constituídos de forma geral por materiais orgânicos e minerais.

A composição gravimétrica também depende do período de análise, logo, para análise de RSU frescos e aterrados, os valores de composição provavelmente serão diferentes. Araújo Neto (2016) em seus estudos determinou a composição gravimétrica dos materiais frescos. Da mesma forma, Vieira (2018) determinou a composição para seus ensaios de resistência ao cisalhamento, porém, utilizando materiais com menos de seis meses de aterramento, os valores comparativos podem ser vistos na Tabela 3.

**Tabela 3:** Composição dos resíduos urbanos quanto ao tempo em estudos realizados no Aterro Sanitário em Campina Grande-PB

<b>Componentes</b>	<b>Araújo Neto (2016) – RSU Fresco Participação (%)</b>	<b>Vieira (2018) – RSU Aterrados Participação (%)</b>
<b>Plástico</b>	16,7	15,3
<b>Papel e Papelão</b>	11,0	2,5
<b>Mat. Orgânica</b>	<b>46,5</b>	<b>5,1</b>
<b>Metais</b>	0,6	1
<b>Têxteis</b>	7,9	3,1
<b>Vidro</b>	2,5	0,5
<b>Mistos</b>	<b>14,8</b>	<b>72,5</b>

Na Tabela 3, pode-se analisar uma grande variação nos componentes de matéria orgânica e mistos, sugerindo que, com o passar dos meses os valores percentuais de

materiais mistos tendem a aumentar, contrabalanceados pela biodegradabilidade dos itens orgânicos.

A grande importância do conhecimento prévio da composição dos resíduos permite avaliar a biodegradabilidade, o poder de contaminação ambiental, possibilidade de reciclagem, valores energéticos e de matéria orgânica destes resíduos. Assim, o devido entendimento irá direcionar o tipo de tecnologia mais adequada no tratamento e disposição final dos resíduos, assim como formas de beneficiamento financeiro e ambiental sobre os materiais gerados após sua destinação final. Para Zekkos *et al* (2010) a maior quantidade de matéria orgânica influenciará na maior geração de gás e lixiviado em aterro sanitário.

### 3.2.2 Peso específico

Em se tratando de resíduos sólidos urbanos, uma característica bastante transformadora é o processo de biodegradação, pois transforma progressivamente a composição dos resíduos aterrados. Nesse quesito, se mantém no maciço apenas os componentes não degradáveis ou que tardam bastante esta degradação, e os demais componentes, devido a decomposição, perdem parte da massa aterrada em consequência da geração de líquidos e gases, alterando a relação massa/volume.

Alguns autores como Gomes e Lopes (2012), Reddy *et al.* (2011), Nascimento (2007), sugerem que o peso específico pode ser utilizado como um bom indicador para determinar o estado de degradação dos resíduos e, conseqüentemente, o tempo de aterramento, pois reflete as alterações que ocorrem ao longo dos anos. Na Tabela 4 estão os resultados encontrados para os respectivos pesos específicos de acordo com tempo de aterramento dos resíduos.

**Tabela 4** – Determinação do peso específico dos RSU

<b>Referência</b>	<b>Tempo de aterramento dos resíduos</b>	<b>Resultados (KN/m<sup>3</sup>)</b>
Nascimento (2007)	1 ano	17,7
	4 anos	20,3
Reddy <i>et al.</i> (2009)	Fresco (não aterrado)	8,5 ± 1,30
	1,5 ano	9,7 ± 0,6
Reddy <i>et al.</i> (2011)	Fresco (não aterrado)	10,9
Gomes e Lopes (2012)	2 a 10 anos	18,7 - 23,2

Vários fatores podem interferir no peso específico dos resíduos, sendo os mais importantes: composição física, umidade, volume de cobertura inseridas diariamente, grau de compactação durante a operação do aterro e o estágio de biodegradabilidade dos materiais (LING *et al.* 1998; NASCIMENTO, 2007)

Segunda Motta (2011), o conhecimento do peso específico dos resíduos aterrados é indispensável para a elaboração dos projetos de aterros sanitários. Este índice físico é utilizado em várias etapas do projeto, desde os cálculos da vida útil do empreendimento, aspectos gerenciais de coleta, segurança, disposição, até comportamento mecânico dos RSU no aterro.

No caso dos resíduos sólidos, em função da heterogeneidade da massa, o estudo do peso específico requer muita atenção, pois a gravimetria e a granulometria variam de acordo com a composição dos resíduos, que sofre a influência de fatores que vão desde a sazonalidade de eventos, ao poder aquisitivo da população atendida pela coleta dos resíduos sólidos, até as crises econômicas (SILVEIRA, 2004).

Para determinação do peso específico dos resíduos aterrados várias técnicas podem ser utilizadas. Por não existir norma específica o método mais utilizado é o ensaio de poço ou trincheira, no qual é obtido o peso específico dos resíduos pela relação entre o peso extraído em relação ao volume da cava. Os ensaios em poço ou trincheira consiste na pesagem do material escavado e da determinação do volume extraído a partir do preenchimento da cava com água, na qual deve ser previamente isolada com manta sintética de boa espessura. Outro método é empregando radiação gama, porém existe o consenso na literatura que os valores não são precisos, atingindo um grau de incerteza de 10 a 20% (GOTTELAND, LEMARÉCHAL E RICHARD, 1995).

Porém, deve-se salientar que nenhum método está livre de variações de erros nas suas determinações de peso específico dos resíduos.

Alguns autores defendem que a medida do grau de compactação irá exercer função essencial sobre a condição de peso específico do RSU. Tal afirmação pode ser comprovada pelo fato de os resíduos sólidos apresentarem grande índice de vazios e, conseqüentemente, de alta compressibilidade. Manassero *et al.* (1996) e Konig & Jessberger (1997) apresentam alguns valores médios para os pesos específicos dos resíduos para diferentes graus de compactação que variam de 9,0 kN/m<sup>3</sup> a 12,0 kN/m<sup>3</sup>. De acordo com de Lamare Neto (2004), tais valores variam de 3,0 a 7,0 kN/m<sup>3</sup> para resíduos não compactados e 9,0 a 13,0 kN/m<sup>3</sup> para aterros de compactação controlada. O

peso específico dos RSU recém aterrado pode variar de 4,0 kN/m<sup>3</sup> a 16,0 kN/m<sup>3</sup>, variações que dependem do grau de compactação durante as operações de disposição.

Vários autores obtiveram valores diferentes devido às variações das condições de realização dos ensaios. A Tabela 5 apresenta alguns desses valores da literatura técnica, sob as mais diversas formas de compactação.

**Tabela 5:** Valores de Peso específico dos resíduos aterrados encontrados na literatura

<b>Referência</b>	<b>Peso específico (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Observações</b>
Sowers (1968)	8 a 12	Compactados
Sowers (1973)	1,2 a 3 6	Antes da compactação Após compactação
Rao (1974)	1,5 a 2 3,5 a 6	Sem compactação Fracamente compactado
Bratley <i>et al.</i> (1976)	1,16 7,0 a 13,1	Sem compactação Compactados
Cartier e Baldit (1983)	11,0 a 14,5	Compactados
Oliden (1987)	10 7,5 a 8,5 5,5 a 7,1	Compactados Pré-carregado Antes da compactação
Oweiss e Khera (1990)	4,6 a 17,3 2,8 a 3,1 4,7 a 6,3	Misturado Sem compactação Moderadamente compactado
Arroyo <i>et al.</i> (1990)	10	Compactados
Landva e Clark (1990)	7 a 14	Compactados

Fonte: Carvalho (2002)

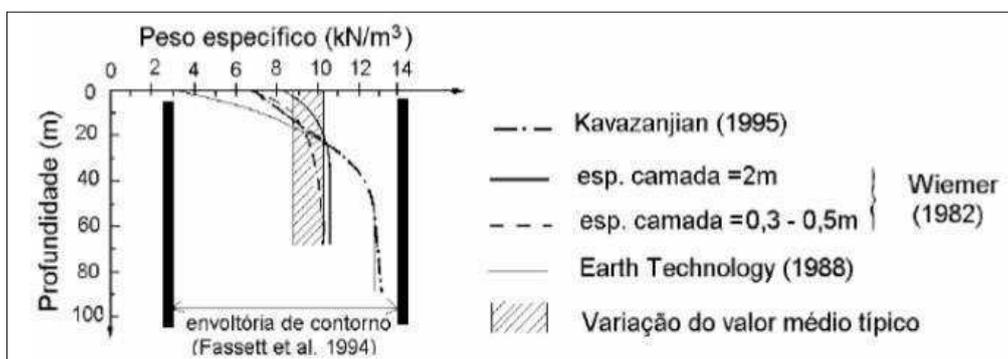
Analisando a Tabela 5, nota-se que o grau de compactação do aterro exerce grande influência sobre o peso específico dos resíduos, que pode ser explicado pela grande existência de vazios no seu interior e da sua alta compressibilidade. Outro ponto que pode ter relevância seria a presença de materiais putrescíveis, no qual, ao longo do tempo, alcançam processos de degradação que culminam no aumento do peso específico devido a redução do volume ocupado.

Os estudos de Martins (2006) concluiu que, quanto maior a presença de matéria orgânica nos RSU, maior seria seu peso específico e quanto maior a presença de papéis, plásticos e papelão, menor seria o peso específico. Para de Lamare Neto (2004) em seus

estudos realizados na cidade do Rio de Janeiro constatou que os resíduos de regiões mais pobres apresentavam maior peso específico do que o das regiões mais nobres da cidade.

Além dos aspectos que influenciam no peso específico já citados, outro ponto pode ser comentado; Kavazanjian *et al* (1995), tendo como base dados publicados pelo Earth Technology (1988), elaboraram um perfil de variação do peso específico em função da profundidade, constatando esse aumento devido a bioconsolidação do RSU com o tempo pela sobrecarga de materiais. Os aumentos mais significativos são mostrados para profundidades entre 35 e 45 metros. Na Figura 2 estão apresentados outros perfis elaborados (WIEMER, 1982; FASSETT, LEONARDS E REPETTO, 1994).

**Figura 2:** Peso específico para os resíduos sólidos urbanos



Fonte: modificado de Kavazanjian. (1995)

## 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa teve como área de estudo o Aterro Sanitário em Campina Grande-PB, sendo parte integrante da Tese de Doutorado intitulada “Influência dos Mecanismos Físico-Químicos, Biológicos e Geotécnicos na estabilidade de Aterros Sanitários” desenvolvida pelo doutorando Cláudio Luis de Araújo Neto. Contou com a participação do Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) pertencente ao Departamento de Engenharia da UFCG, grupo este, formado por três professores, além de alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado. As etapas da pesquisa estão listadas na Figura 3.

**Figura 3** – Fluxograma da pesquisa

#### 4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

O Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG) se localiza no Sítio Logradouro II, Catolé de Boa Vista, distrito do município de Campina Grande, Paraíba (Figura 4), nas coordenadas UTM 829172 e 9194834. Compreende uma área de 64 ha, dos quais 40 ha estão destinadas a construção de células para a disposição de RSU. O acesso principal ao ASCG é a PB-138, que se interliga à BR-230, a 10 km do aterro.

**Figura 4** – Localização do Aterro sanitário em Campina Grande-PB

Fonte: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (2018)

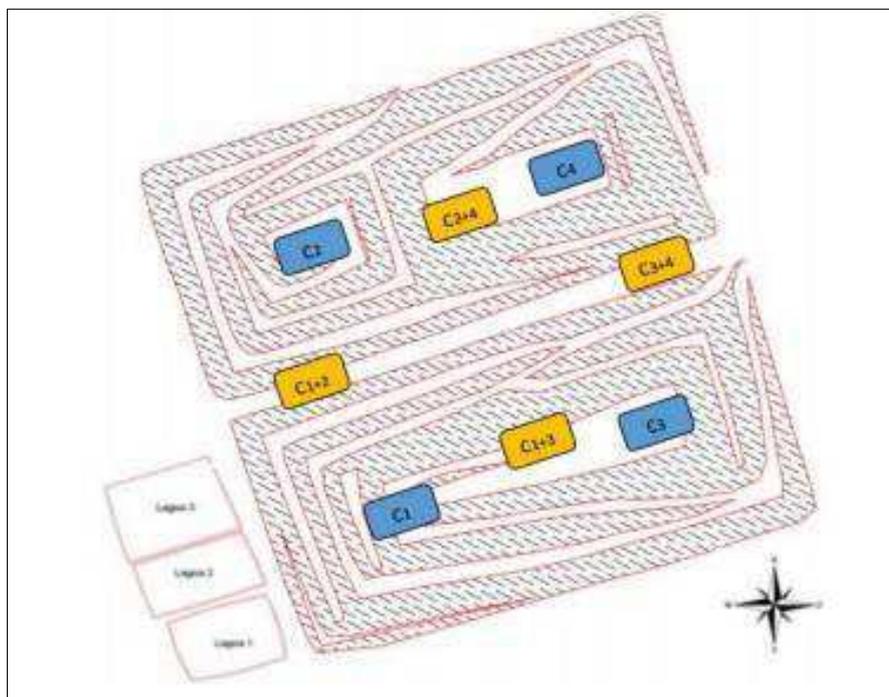
Inicialmente o aterro foi projetado para uma vida útil de 25 anos, projeção alcançada com estimativa do recebimento 350t diária de resíduos urbanos, sendo subdividido em 22 células independentes, com área de base de aproximadamente 100 x 100

e 20 m de altura, escalonadas em platôs de 5 metros de altura e bermas de aproximadamente 6 a 7 metros de comprimento.

A operação do aterro começou em julho de 2015, para a primeira etapa do planejamento operacional foram implantadas 4 células, denominadas de células 1 (C1), 2 (C2), 3 (C3) e 4 (C4); entretanto, o aporte diário de material superou os valores estipulados durante seu planejamento inicial, sendo atualmente destinados para o aterro um depósito médio de 500 tRSU/dia, dos quais cerca de 95% tem origem na cidade de Campina Grande e os 5% restantes de quinze cidades paraibanas, são elas: Santa Cecília, Riachão do Bacamarte, Areia, Barra de Santana, Boa Vista, Cubati, Esperança, Gado Bravo, Itatuba, Lagoa Seca, Montadas, Prata, Puxinanã e Queimadas.

Assim, durante o ano de 2018, com a finalidade de aumentar a capacidade e, conseqüentemente, o tempo de vida útil do aterro, a empresa ECOSOLO GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS LTDA, responsável pela operação do aterro, iniciou a disposição dos RSU entre as células, conforme pode ser observado na Figura 5. Os locais denominados C<sub>1+2</sub>, C<sub>2+4</sub>, C<sub>3+4</sub>, C<sub>1+3</sub>, correspondem as áreas de disposição entre as células adjacentes, assim, no presente momento, os resíduos estão dispostos nas 4 células unificadas.

**Figura 5** – Células do Aterro sanitário em Campina Grande-PB



Fonte: Araújo Neto *et al.* (2019)

## 4.2 COLETA E AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS

Os resíduos que foram utilizados para a determinação do peso específico e composição gravimétrica foram coletados no dia 03 de junho de 2019. O local de coleta situa-se nas coordenadas UTM 829858,77 e 9194300,42, na primeira berma a oeste do aterro, entre as células 1 e 2 próximo a lagoa de tratamento de lixiviado. O ponto de coleta pode ser observado na Figura 6.

**Figura 6** – Localização do ponto de coleta dos RSU no ASCG-PB



Fonte: Adaptado Google Earth (2019)

Ressalta-se que o local escolhido contempla materiais depositados no ASCG relativos ao ano de 2018, ou seja, com aproximadamente um ano de confinamento. Portanto, para análise dessa pesquisa, os resíduos coletados têm como origem as cidades que depositaram seus resíduos naquele ano. Assim, a amostragem nessa situação integra resíduos de dez cidades além de Campina Grande, são elas: Lagoa Seca, Montadas, Boa Vista, Puxinanã, Areia, Barra de Santana, Gado Bravo, Itatuba, Santa Cecília e Alcantil.

Para o procedimento de amostragem, seguiu-se a NBR 10007 (ABNT, 2004), de modo a obter uma amostragem representativa das cidades acima mencionadas.

No ponto definido para a coleta foi realizada a escavação com o auxílio de uma retroescavadeira do tipo 416E, e para o transporte do material até o galpão de destino utilizou-se um caminhão basculante (Figura 7).

**Figura 7** – Localização do ponto de coleta dos RSU no ASCG-PB



O local foi escavado com cerca de dois metros e meio de profundidade, no qual o primeiro metro e meio foi descartado pelo motivo de ser a camada intermediária de cobertura do ASCG, e o meio metro subsequente compreendeu a escavação dos RSU depositados (Figuras 8). Logo após, foi recolhido uma quantidade de aproximadamente 1t (uma tonelada) de resíduo, sendo conduzido para pesagem. Por fim, foram transportados para um galpão aonde foram cobertos por lona impermeável, permanecendo intocáveis por 48h.

**Figura 8** – Coleta dos RSU em Campina Grande-PB



(A) Escavação no local



(B) RSU descobertos



(C) Carregamento do caminhão com os RSU

#### 4.3 – COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS

Passadas as 48h após a coleta, por motivos operacionais, no dia 05 de junho de 2019 foi realizada a segregação dos materiais (Figura 9). Os resíduos foram classificados de acordo com adaptações da norma alemã GDA Empfehlungen E1-7 (DGGT, 1994), de acordo com os seguintes grupos: Plástico, compósitos, têxteis sanitários, metal, vidro, madeira, papel, papelão, couro, matéria orgânica e material misto. No qual os materiais mistos compreendem a parcela da amostra que não se classifica em nenhuma outra categoria, devido sua difícil identificação, sendo em geral uma mistura de solo e materiais orgânicos.

**Figura 9** – Materiais espalhados para segregação



Após a segregação, os materiais foram armazenados por categoria em sacos plásticos e em seguida dispostos sobre manta plástica. (Figura 10 A). Os resíduos que não

se encaixavam em nenhuma categoria, foram classificados como material misto. (Figura 10 B).

**Figura 10 – Segregação do RSU**



(A) Separação por categoria



(B) Material misto

Para determinação da composição gravimétrica, os materiais foram pesados em balança com capacidade de 150 kg conforme pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11 – Pesagem do material**



A composição gravimétrica foi determinada pela relação da massa encontrada para cada componente pela massa total dos resíduos (Equação 1).

$$CG = \frac{P_c}{P_t} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:  $CG$  = Composição gravimétrica (%);

$P_c$  = massa de cada fração segregada (kg);

$P_t$  = massa total dos resíduos destinados a composição gravimétrica (kg).

#### 4.4 – PESO ESPECÍFICO *IN SITU*

A determinação do peso específico dos resíduos sólidos depositados no aterro, segue pela relação da massa do material escavado pelo volume ocupado por ele. Não há ensaios normatizados para a determinação do peso específico dos RSU, porém, utilizou-se uma técnica adotada por alguns autores (Nascimento, 2007; Tapahuasco, 2005; Marques, 2001), que consiste na retirada de material a partir de uma cava, pesagem desse material e determinação do volume da cava.

Para isso, os RSU escavados foram conduzidos para pesagem, enquanto isso, seguindo recomendações de Silveira (2004), a cava foi forrada com manta sintética de dimensões 3,2 x 4,0 m (Figura 12), tendo o cuidado em acomodar e regularizar o fundo e as laterais.

Onde foram depositados os resíduos na cava, efetuou-se marcações com fitas para delimitação do limite máximo de água a ser inserido do próprio aterro, desprezando a camada de cobertura composta por solo.

**Figura 12** – Acomodação da manta sintética na cava



Para a cubagem da cava, seu preenchimento foi realizado com água fornecida pelo caminhão-pipa, o qual foi abastecido com água próximo a lagoa de lixiviados e conduzido para o local de coleta dos resíduos (Figura 13 A). O volume de água necessário ao preenchimento da cava foi medido com emprego de dois recipientes com volume de 60 litros cada. Assim, realizou-se o enchimento desses recipientes com água (Figura 13 B) e em seguida foram despejados de forma gradativa no interior da cava, até que atingissem as marcações de altura predeterminada, conforme pode ser visto na Figura 13 C.

**Figura 13 – Cubagem da cava**



(A) Abastecimento do caminhão pipa com água

(B) Enchimento dos recipientes



(C) Preenchimento da cava com água

Assim, para determinação do peso específicos *in situ*, utilizou-se a Equação 2.

$$\gamma = \frac{Pt}{Vt} \quad (2)$$

Sendo:  $\gamma$  – Peso específico (kN/m<sup>3</sup>);

Pt - Peso total da amostra (kN);

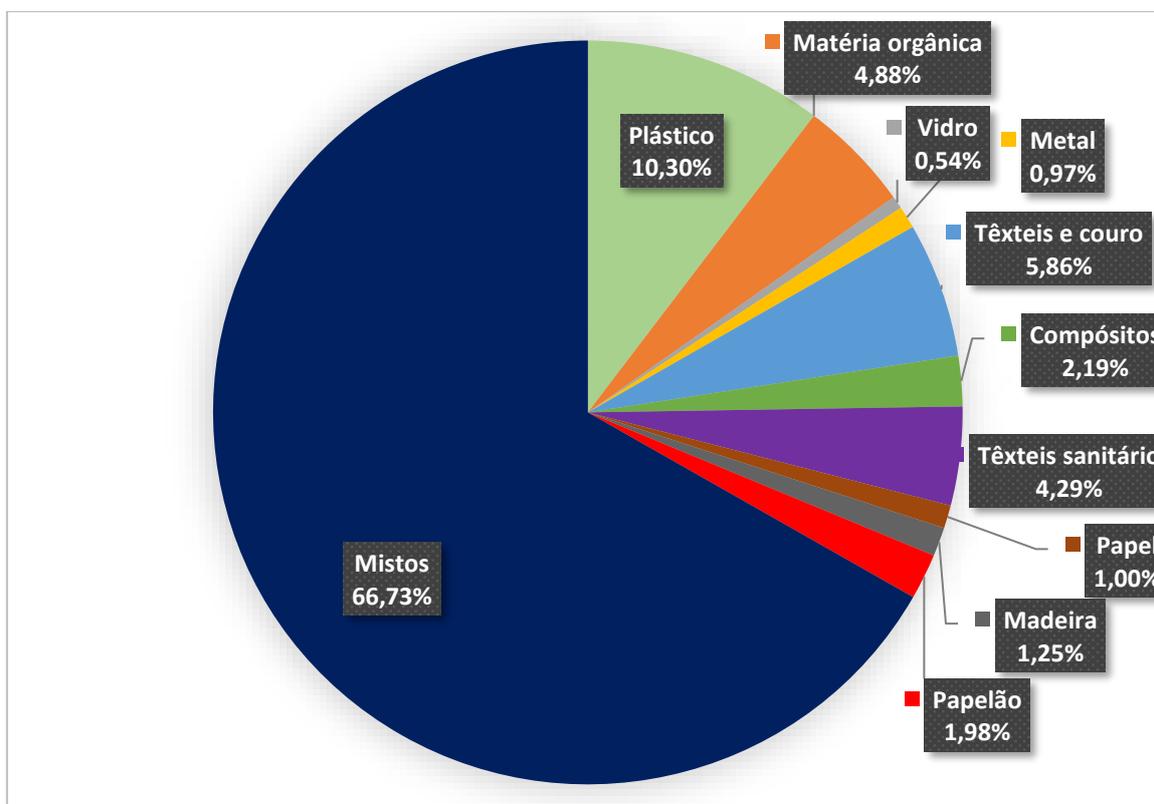
Vt - volume total da amostra (m<sup>3</sup>).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Na análise da composição gravimétrica foram considerados onze subcategorias de acordo com suas similaridades, segundo a norma GDA Empfehlungen E1-7 (DGGT,1994). A Figura 14 apresenta os resultados encontrados para a composição gravimétrica em termos percentuais dos RSU depositados no ASCG com um ano de aterramento.

**Figura 14** - Caracterização gravimétrica do Aterro Sanitário em Campina Grande – PB



Pode-se verificar na Figura 14 uma grande incidência de materiais mistos (66,73%), sendo itens de difícil identificação, os quais não se enquadram em nenhuma outra classificação. Brito (2017), analisou os RSU do aterro da Muribeca na cidade de Jaboatão dos Guararapes-PE, e Vieira (2018), que avaliou a composição do ASCG, encontraram valores também elevados para esse componente sendo 71% e 75,48% respectivamente. Isso pode estar relacionado ao fato de que, os resíduos caracterizados já estavam aterrados e compactados, somando a isso a biodegradabilidade dos materiais que acontece ao longo dos meses, dificultando sua identificação. Outro ponto que pode estar

relacionado a esse valor elevado, é a mistura dos resíduos com o solo da camada de cobertura durante a coleta dos RSU.

Em contrapartida, os valores de matéria orgânica apresentaram 4,88%. Esse baixo valor provavelmente se deve à degradação de materiais orgânicos de fácil ou mediana degradação no interior do aterro, que alteram suas propriedades e características, ou está sendo contabilizado com o material misto. Pode-se dizer que existe uma relação direta ao longo do tempo entre os componentes orgânicos com os componentes mistos, enquanto aquele tende a diminuir, esse tende a aumentar nas análises gravimétricas. Segundo Zekkos *et al.* (2006) a maior percentagem de matéria orgânica irá influenciar em uma maior compressibilidade do aterro e uma menor resistência ao cisalhamento do maciço, assim, conclui-se que esse baixo valor pode contribuir para a estabilidade e segurança do aterro após um ano de aterramento.

Diante disso, alguns materiais tendem a retardar o processo de decomposição, que são os componentes de características recicláveis: Papel (1%), papelão (1,98%), plástico (10,30%), vidro (0,54%), metal (0,97%), madeira (1,25%), compósitos (2,19%), têxteis e couros (5,86%).

Parte desses componentes como plástico, têxteis, madeira, papéis e metais segundo de Lamare Neto (2004) e Abreu (2015), têm influência direta como reforço na estabilidade e segurança devido a presença de fibras ou funcionam similarmente a elas. Esse aspecto pode contribuir para segurança e alteamento das células, como foi executado no ASCG, entretanto, o aumento percentual desses materiais dificulta a compactação dos resíduos, promovendo a diminuição do peso específico.

## 5.2 PESO ESPECÍFICO *IN SITU*

Os dados coletados na operação de pesagem dos resíduos e cubagem da cava podem ser vistos na Tabela 6.

**Tabela 6** – Determinação do peso específico dos resíduos

<b>PARÂMETRO</b>	<b>CAVA</b>
Peso do material escavado (kg)	930
Volume (m <sup>3</sup> )	0,48
<b>Peso Específico (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,375</b>

Conforme apresentado na Tabela 6, o valor encontrado para o peso específico foi de 19,375 kN/m<sup>3</sup>, valor superior ao encontrado por Kavazanjian *et al* (1995), Wiemer (1982) e Fassett, Leonards e Repetto (1994), os quais analisaram profundidades maiores que as utilizadas nesse trabalho, encontrando valores em média de 8 a 12 kN/m<sup>3</sup>. O valor encontrado para o ASCG pode ser explicado pelo fato de existir um grau de compactação e controle sobre os materiais depositados; logo, as camadas superficiais de solo que fazem parte da cobertura apresentavam em média um metro e meio de altura, contribuindo para maiores deformações do material ao longo do tempo o que ocasiona maior densidade. Além disso, existe diariamente o tráfego de maquinários como retroescavadeiras e caminhões, que contribuem para o adensamento dos RSU.

Silveira (2004), encontrou o peso específico de 19,54 kN/m<sup>3</sup> e 19,74 kN/m<sup>3</sup> nos aterros da cidade de Santo André/SP e Gramacho/RJ, respectivamente, valores bem próximos ao que foi encontrado nesse trabalho, porém, deve-se levar em consideração que na ocasião de Gramacho/RJ não se tratava de aterros sanitário e sim aterro controlado. Além disso, não se conhecia a idade dos materiais, ou seja, o peso específico tenderia a ser maior caso os resíduos fossem dispostos em condições mais favoráveis, como as apresentadas no ASCG.

Similarmente, Nascimento (2007) analisou materiais em aterro localizado na cidade de Salvador-BA com tempo de aterramento de um e quatro anos, encontrando os valores para o peso específico de 17,7 kN/m<sup>3</sup> e 20,3 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente. Assim, o valor encontrado no ASCG apresenta relativa similaridade com o intervalo encontrado pelo autor. Ao final conclui em seus estudos que o acréscimo do peso específico ao longo do tempo tende a aumentar a resistência ao cisalhamento dos RSU, promovendo uma maior segurança e estabilidade para o maciço.

Assim, o valor do peso específico dos resíduos depositados no ASCG encontra-se dentro da faixa encontrada na literatura técnica para aterros com idades semelhantes, podendo haver a perspectiva do crescimento do valor do peso específico ao longo do tempo. Segundo Reddy *et al* (2011), sugere que o peso específico dos resíduos se torna um bom indicador do estado de degradação dos RSU e, conseqüentemente, do tempo de aterramento.

## 6 CONCLUSÕES

- Os resíduos dispostos no Aterro Sanitário em Campina Grande-PB com um ano de aterramento apresentam 66,73% de material misto, valor similar a outras pesquisas referentes à composição gravimétrica de resíduos aterrados, demonstrando forte relação da biodegradabilidade sobre os materiais aterrados ao longo do tempo, sendo assim, o aterramento dos RSU funciona como uma fonte modificadora da composição gravimétrica.
- Os resíduos apresentam no total 27,84% de materiais que funcionam como matriz de reforço (plásticos, metal, têxteis, madeira, papeis), contribuindo para uma maior resistência ao cisalhamento estando de acordo com a literatura técnica, entretanto o aumento significativo destes itens pode diminuir o valor do peso específico dos RSU, diminuindo sua estabilidade. Assim, estima-se que pode existir um teor ótimo para cada componente, de modo que contribua na segurança e estabilidade do aterro sanitário.
- O valor de peso específico *in situ* foi de 19,375 kN/m<sup>3</sup> para os materiais de um ano de aterrado, valor próximo ao encontrado na literatura para materiais de idade similar, sugerindo ser um bom indicador para o estado de degradação dos resíduos.
- O peso específico dos resíduos duplica o seu valor em um ano de aterramento, visto que, na literatura técnica adota-se como média valores de 10 kN/m<sup>3</sup>.
- Os estudos relativos à estabilidade e resistência dos aterros devem levar em consideração outros fatores não incluídos nessa pesquisa, como ensaios de parâmetros de resistência, umidade, granulometria, geometria das células e as poropressões de líquidos e gases.
- Os diversos parâmetros estudados nos aterros sanitários estão sujeitos a incertezas, visto que, tanto a composição gravimétrica, quanto o peso específico dos resíduos encontrados pode ter sido influenciado por variáveis como a imprecisão da balança e erros humanos na operação do maquinário para a escavação.
- Existe ainda a possibilidade de mistura da amostra com materiais rochosos e solos alterando os valores reais das características físicas dos resíduos depositados.
- Recomenda-se o estudo de um número maior de amostras em pontos de coletas diferentes, de modo que a área de amostragem seja ampliada, levando a resultados

que possam ser mais representativos e fidedignos com a realidade dos materiais depositados no aterro.

## **REFERENCIAS**

\_\_\_\_ NBR 10007: Resíduos Sólidos – Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004c.

21p

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 9p.

ABREU, A. E. S (2015). **Investigação geofísica e resistência de resíduos sólidos urbanos de diferentes idades**. Tese de Doutorado em geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.;

ARAÚJO NETO, C. L. **Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ARAÚJO NETO, L.C; GURJÃO, R.I.L; GOMES DA SILVA; J.H; DE OLIVEIRA, K.L; TRINDADE, J.R; DE PAIVA, W. **Análise dos eslocamentos verticais ocorridos em um Aterro Sanitário em fase de operação**. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 10º, 2019, João Pessoa - PB

BORGATTO, A. V. A. **Estudo das Propriedades Geomecânicas de Resíduos Sólidos Urbanos Pré-Tratados**. 2010. 306 fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BORGATTO, A.V.A, **Estudo do Efeito Fibra e da Morfologia na Estabilidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2006, 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**. Oficina de Textos 1ª ed. São Paulo, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 02 de agosto de 2010. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso 08/03/2014.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em:

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais. Brasília: MMA/SRHU. Fevereiro de 2012. 104 p.

CARDIM, R.D. **Estudo da resistência de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões. 2008**, 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico dos resíduos sólidos urbanos**. São Carlos: EESC-USP, 306 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999;

CASTILHOS Jr, A. B.; DALSSASSO, R. L.; ROHERS, F. **Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 385-392, 2010.

DE LAMARE NETO, A. **Resistência ao Cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos e de Materiais Granulares**. 2004, 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ECOSAM. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande-PB**. João Pessoa: ECOSAM, 2014.

FASSETT, J. B.; LEONARDS, G.A.; REPETTO, P.C. **Geotechnical properties of municipal solid wastes and their use in landfill design**. Proc. Waste Technical Conference, Charleston, SC, USA, 1994;

GABR M. A.; VALERO S. N. Geotechnical properties of municipal solid waste, Geotechnical Testing Journal, Vol. 18, Nº 2, 1995, pp. 241-251;

Gomes, C.C; Lopes, M.L (2012) Characterisation of municipal solid waste physical properties and their evolution with age. Proceeding of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering. Vol. 165 Issue GEI PAGES 23-34.

Gotteland, P.; Lemaréchal, D.; Richard, P. (1995) Analysis and Monitoring of the stability of a domestic waste landfill. **Proc. Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium**. Cagliari, Italy, p. 777-787.

KAVAZANJIAN, E.; MATASOVIC, N.; BONAPARTE, R.; SCHMERTMAN, G. R. **Evaluation of MSW properties for seismic analysis**. Geoenvironmental 2000. Geotechnical Special Publication ° 46, ASCE, vol.2, 1995, pp. 1126-1142. Ed. Yalcin B. Acar and David E. Daniel, New Orleans;

KONIG. D.; JESSBERGER, H. L. Waste mechanics. In: JESSBERGER, H.L. (Ed). **Environmental Geotechnics: Report of the ISSMGE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics**. Ruhr-Univ. Bochum, 1997.

LING, H.I.; LESHCHINSKY, D.; MOHRI, Y.; KAWABATA, T. **Estimation of municipal solid waste landfill settlement**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v.124, n°1, January, 1998, ASCE, pp. 21-28

MACHADO, S.L., CARVALHO, M.F, NASCIMENTO, J.C.F., DOURADO, K.A. (2005). **Estudo do Comportamento Mecânico dos Resíduos Sólidos Urbanos Sob a influência da Biodegradabilidade**, XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

MANASSERO, M., Van Impe, W.F., Bouazza, A. (1996). **Waste disposal and containment**. In: **INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS**, 2., Osaka, Japan, v.3.

Marques, A. C. M. (2001). **Compactação e Compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação de Doutorado-EESC-USP-São Carlos.

MARTINS, H.L. **Avaliação da resistência de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de cisalhamento direto em equipamentos de grandes dimensões**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meios Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006, 116p.;

MOTTA, E. Q. (2011) **Avaliação da Resistência ao Cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Co disposição de Lodo de Tratamento de Esgoto Através de Ensaio de Cisalhamento Direto de Grandes Dimensões**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

NASCIMENTO, J.C.F. do. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, EESC/USP, 2007;

OBLADEN, N.L.; OBLADEN, N.T.R.; BARROS, K.R. **Guia para elaboração de projetos de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos**. Curitiba: CREA-PR, 2009.

REDDY, K. R.; HETTIARACHCHI, H.; GANGATHULASI, J.; BOGNER, J. E. (2011). **Geotechnical properties of municipal solid waste at different phases of biodegradations**. Waste Management. Vol 31. Pp. 2275-2286.

REMÉDIO, F. H. **Análise de estabilidade de taludes de aterro de resíduos urbanos utilizando parâmetros geotécnicos de propostas bibliográficas e correlações com  $N_{spt}$** . (2014). 131 fls. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

SILVEIRA, A.M.M. **Estudo do peso específico de Resíduos sólidos urbanos**. 2004, 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOARES, E.L.S.F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos**. 2011, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SONG, Q.; WANG, Z.; LI, J. **Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau**. *Journal of Cleaner Production*. v. 57, n. 15, p. 92-100, 2013.

Tapahusco, W. F. C. (2005). Avaliação de modelos de previsão de recalques dos resíduos sólidos urbanos do Aterro do Jockey Clube de Brasília. Dissertação de mestrado em Geotecnia, Departamento de engenharia civil e ambiental-UNB: 141 p

VIEIRA, E.M.S. **Avaliação da composição e resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterro sanitário**. 2018, Trabalho de Conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

WIEMER, K. (1982). **Qualitative und quantitative Kriterien zur bestimmung der Dichte von Abfällen in geordneten Deponien**. Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Berlin. ISBN 3-922021-50-1.108P.

ZEKKOS, D.; ATHANASOPOULOS, G. A.; BRAY, J. D.; GRIZI, A.; THEODORATOS, A. Large-scale direct shear testing of municipal solid waste. **Waste Management**, United Kingdom, v. 30, n. 8, p. 1544-1555, 2010.

ZEKKOS, D.; BRAY, J. D.; KAVAZANJIAN JR, E.; MATASOVIC, N.; RATHJE, E. M.; RIEMER, M. F.; STOKOE, K. H. Unit weight of municipal solid waste. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, United States of America, v. 132, n. 10, p. 1250-1261, 2006.