



UNICAMP

# DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE COMPRESSIBILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE UMA CÉLULA EXPERIMENTAL



Bolsista: Vitor Bochett Vilela

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Miriam Gonçalves Miguel

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC – UNICAMP

Palavras-chave: Compressibilidade; Resíduos Sólidos Urbanos; Aterros Sanitários.

## Objetivo

Esta pesquisa teve como objetivo a obtenção dos parâmetros de compressibilidade do resíduo sólido urbano (RSU) proveniente uma célula experimental do aterro sanitário Delta A, de Campinas-SP, em laboratório. Com esses parâmetros, os recalques da célula experimental foram estimados.

## Materiais e Métodos

Para a realização do ensaio de compressibilidade, uma célula edométrica de grandes dimensões foi confeccionada (Figura 1). Este equipamento possui uma câmara de pressão e pedras porosas na base e no topo para a drenagem de líquidos e uma câmara de pressão para aplicação, através de um pistão, da tensão vertical. À medida que o ar comprimido é aplicado na câmara de pressão, o êmbolo reage contra o resíduo, fazendo-o deformar. As deformações são medidas por meio de um relógio comparador de 50 mm, com sensibilidade de 0,01mm, posicionado no topo do pistão.



Figura 1. Edômetro utilizado nos ensaios de compressibilidade

Foram coletadas e caracterizadas amostras de RSU advindas da frente de serviço do aterro Delta A, que foram dispostas em uma lona plástica e separadas em categorias, e depois foram pesadas para a determinação gravimétrica e proporção dos constituintes. A amostra inserida no edômetro (em camadas) seguia a composição física em massa obtida para o RSU do aterro Delta A de Campinas. A compactação foi realizada manualmente. Os ensaios de compressibilidade foram executados em vários estágios de carregamento (20, 40, 80, 160 e 320kPa). Cada estágio durando em torno de 20 dias.

Além da composição gravimétrica, ensaios de caracterização física dos resíduos foram realizados, como o teor de umidade e o peso específico das partículas sólidas dos resíduos. O lixiviado proveniente do edômetro foi submetido à ensaios físico-químicos, a fim de se caracterizar os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, teor de ácidos orgânicos voláteis (AOV), potencial redox, condutividade, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal.

## Resultados

A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica do RSU no aterro Delta A de Campinas. O valor do teor de umidade médio encontrado foi igual a 151,52%. Da montagem do edômetro, foi obtido o peso específico natural da amostra de RSU de 8kN/m<sup>3</sup>, e o seu índice de vazios inicial igual a 3,26.

Tabela 1. Composição gravimétrica utilizada para as duas amostras

Componente	Percentagem (%)
Matéria Orgânica	42,8
Papel	9,4
Papelão	3,5
Plástico Duro	3,6
Plástico Mole	9,4
Metais	1,2
Vidro	1,9
Tetra Pak	1,2
Fraldas e Absorventes	5,3
Diversos	6,1
Madeiras	0,9
Tecido	3,7
Perigosos	4,6
Entulho	1,9
Poda	4,5
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

Os resultados obtidos para a amostra de RSU no edômetro, após os 5 estágios de carregamento, estão expostos na Figura 2. Os parâmetros de compressibilidade foram obtidos com uma metodologia de análise diferente da de Sowers (1973), devido a diferenças no método experimental. No primeiro carregamento (cerca de 30 dias), tem-se somente um comportamento, relativo à sua compressão primária, já que o resíduo ainda não atingiu idade suficiente para que a compressão secundária se faça presente. Para os outros carregamentos, o comportamento do RSU pode ser dividido em duas partes: Na primeira, tem-se predominância do recalque primário devido à variação da tensão na amostra de RSU e na segunda, quando já se observa outra tendência linear a constante, tem-se a parcela com predominância do recalque secundário relativo à tensão do carregamento anterior, pois o resíduo já atingiu mais de 30 dias sob ação deste carregamento. Pela Figura 2, a segunda parcela tem início aproximadamente após um dia de compressão primária.

Na Figura 3 estão plotados os índices de vazios virtuais relativos ao final de cada um dos estágios de carregamento *versus* o logaritmo da tensão aplicada em cada estágio de carregamento. Estes foram calculados ignorando-se as variações do índice de vazios da amostra relativos às compressões secundárias de cada carregamento. Tal cuidado foi tomado para a obtenção de um valor correto para o coeficiente de compressão primária e, como consequência, para o índice de compressão primária.

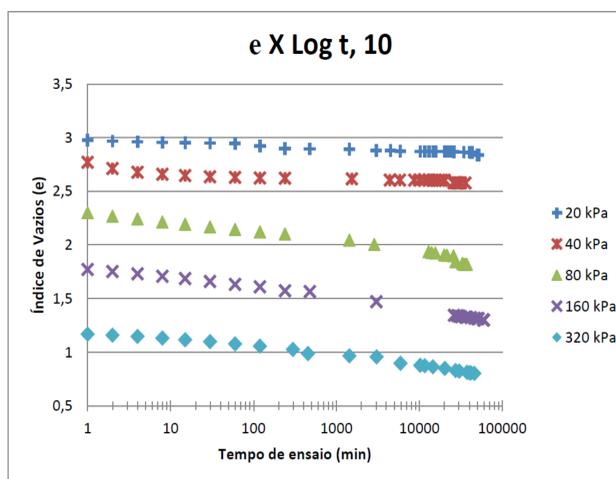


Figura 2.: Curvas de índice de vazios *versus* o tempo de ensaio em minutos

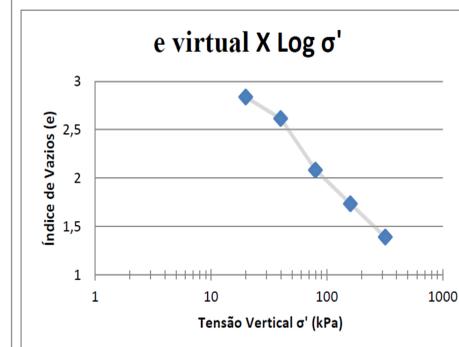


Figura 3.: Curva do índice de vazios virtual da amostra pelo logaritmo da tensão vertical

Da Figura 2, são calculados os índices e coeficientes de compressão secundária de cada carregamento e da Figura 3, tem-se, para o RSU do aterro Delta A de Campinas, o valor do índice de compressão primária ( $C_c$ ) igual a 1,201 e do coeficiente de compressão primária ( $C'_c$ ) igual a 0,282.

Tabela 2. Valores do índice e do coeficiente de compressão secundária para cada estágio de carregamento

Parâmetro	20 kPa	40 kPa	80kPa	160 kPa
Índice de compressão secundária ( $C_c$ )	0,028	0,160	0,131	0,130
Coeficiente de compressão secundária ( $C'_c$ )	0,008	0,052	0,053	0,066

Com os parâmetros obtidos, foi feita uma estimativa do recalque da célula experimental de RSU localizada também no aterro Delta A de Campinas. Os resultados obtidos com os parâmetros advindos do edômetro foram muito superiores ao esperado. O recalque calculado para somente 3 meses foi de 0,771m, já superior ao recalque de 0,650m observado na célula experimental em um período de 4 anos.

De todas as amostras de lixiviado coletadas, somente as amostras com volume suficiente para serem analisadas foram utilizadas de fato. As Figuras 4, 5 e 6 exibem os resultados obtidos para as análises feitas em 6 das amostras colhidas. Estas foram colhidas entre o terceiro e o último estágio de carregamento, sendo as 3 últimas referentes ao último carregamento. Somadas, elas constituem um volume de 2008mL, equivalente a cerca de 45% do volume total coletado durante todo o experimento.

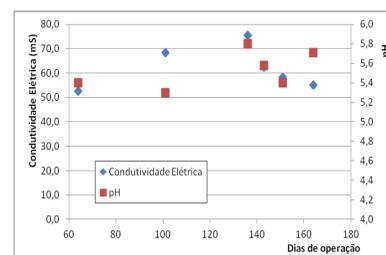


Figura 4. Condutividade elétrica e pH.

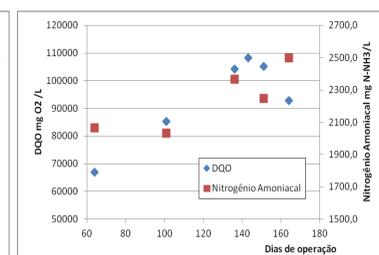


Figura 5. DQO e Nitrogênio Amoniacal.

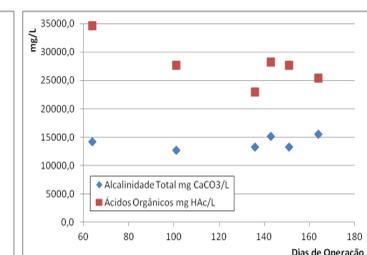


Figura 6. Alcalinidade Total e Ácidos orgânicos.

Os baixos valores de pH e a crescente taxa de nitrogênio amoniacal encontrados são indicativos da fase de degradação anaeróbia ácida, onde ainda não se tem sinais de transição para a fase metanogênica (aumento de pH). A pequena queda de DQO observada para as últimas 3 amostras (que parecem contraditórias) pode ser fruto do fato de que, para o edômetro, diferentemente de um aterro sanitário, a água não é repostada à medida que o lixiviado percola pelo maciço de RSU, impedindo que o lixiviado possa agregar toda a matéria orgânica disponível. Embora se saiba que a biodegradação está ocorrendo, não foi possível concluir algo sobre a intensidade ou velocidade com que esta ocorreu durante o experimento, nem mesmo estabelecer uma relação direta entre estes dados e os valores dos parâmetros de compressibilidade secundária, justamente pelas dificuldades inerentes à realização do ensaio, e suas peculiaridades que o distanciam da realidade de um aterro sanitário e também do aparato e metodologia originalmente utilizados por Sowers (1973).

## Conclusão

Os resultados deste experimento estão em conformidade com os apresentados na literatura, para o mesmo tipo de ensaio. A falta de estudos e a especificidade de resultados dificultam a comparação e análise dos resultados. Além disto, os resultados imprecisos obtidos para a previsão de recalques e a dificuldade de se correlacionar os parâmetros físico-químicos do lixiviado no edômetro com as fases de biodegradação do RSU em um aterro sanitário evidenciam as dificuldades de se trabalhar com um material tão heterogêneo como o RSU, além das deficiências do edômetro em simular a realidade de um aterro sanitário, seja em suas dimensões, seja nas condições de ensaio utilizadas, que também divergiram das utilizadas por Sowers (1973), quando este idealizou esta metodologia de cálculo utilizada neste projeto.