

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS: NM 30 x SECAGEM POR MICRO-ONDAS.

Rebecca Fernandes Kaneko<sup>(1)</sup>; Leonardo Fagundes Rosemback Miranda<sup>(2)</sup>; Antônio Acácio de Melo Neto<sup>(3)</sup>

(1) Universidade Federal do Paraná, e-mail: [rebeccakaneko@gmail.com](mailto:rebeccakaneko@gmail.com)

(2) Universidade Federal do Paraná, e-mail: [lfrmiranda@ig.com.br](mailto:lfrmiranda@ig.com.br)

(3) Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: [antoniodemelo@gmail.com](mailto:antoniodemelo@gmail.com)

### Resumo

*No Brasil, o método utilizado para medir a absorção de água de agregados miúdos é a NM 30, que foi originalmente concebida para caracterizar agregados naturais, não sendo adequado para agregados oriundos da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD). Assim sendo, o objetivo deste estudo foi desenvolver um método de ensaio mais rápido e preciso para a determinação de absorção de água de agregados miúdos reciclados, através do uso de micro-ondas. A análise comparativa entre os diferentes ensaios de absorção mostrou que é viável substituir a saturação à pressão ambiente (por 24 horas) pela saturação à pressão de vácuo (500mmHg por 30 minutos) e a secagem por corrente de ar quente pela secagem por microondas, gerando aumento na saturação dos poros, diminuição da perda de massa durante o ensaio, acelerando-o e obtendo resultados de absorção uniformes. A repetibilidade e a reprodutibilidade do ensaio pela NM 30 também comprovou que este gera grandes variações de resultados para as areias recicladas. Deste modo, o método de secagem por micro-ondas, aliado à saturação a vácuo, mostrou ser um procedimento mais confiável de caracterização dos agregados miúdos reciclados, mas que ainda deverá ter seu procedimento de execução melhor desenvolvido.*

**Palavras-chave:** Resíduos de Construção, Reciclagem, Agregados Miúdos, Absorção de água.

### Abstract

*In Brazil, the method used to measure the water absorption of fine aggregates is the NM 30, which was originally conceived to characterize natural aggregates, not being suitable for recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW). Therefore, the objective of this study was to develop a faster and more accurate method for the determination of water absorption of fine recycled aggregates through the use of microwaves. With this purpose, CDW samples were subjected to tests of absorption (30 NM and drying by microwave). The comparative analysis between the different tests of absorption showed that it is feasible to replace the saturation at ambient pressure (for 24 hours) by the vacuum pressure saturation (for 30 minutes and 500mmHg) and drying by heated air by microwave drying, generating an increase in saturation of the pores, the decrease in mass loss during the test, accelerating it and getting uniform absorption results. The repeatability and reproducibility of the assay by NM 30 also proved that this generates large variations of results for the recycled sands. Thus the method of drying by microwave, combined with the vacuum saturation, proved to be a more viable and accurate characterization from fine recycled aggregates, but still must have its implementation procedure better developed.*

**Keywords:** Construction waste, Recycling, Fine aggregates, Water absorption.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado consumidor de agregados reciclados ainda é escasso devido a sua variabilidade natural e falta de conhecimento quanto a sua correta utilização em serviços de Engenharia. Portanto, torna-se imprescindível um controle de qualidade mais rigoroso, baseado na medição de sua porosidade, uma vez que esta é inversamente proporcional à resistência mecânica e durabilidade dos materiais, podendo ser determinada pela medida física de absorção e influenciando diretamente na qualidade final do produto por eles produzido. Assim, este artigo se justifica por analisar a NM 30 comparativamente ao método de secagem por micro-ondas, proposto inicialmente por Damineli (2007) para agregados graúdos, de forma a se obter resultados mais precisos para as areias recicladas, uma vez que a correta caracterização da absorção de água nestes agregados permitirá que esta propriedade venha a ser especificada em norma como parâmetro de controle de qualidade das areias recicladas.

## 2. A NM 30 E A SECAGEM POR MICRO-ONDAS

Tradução da norma americana ASTM C128, a NM 30 determina a absorção de água em agregados miúdos. Embora seja uma norma bem difundida e aceita, o uso desta para a determinação da absorção de agregados reciclados é dificultado devido à alta porosidade do material e grande quantidade de finos apresentada pelo agregado miúdo. Uma vez que foi originalmente concebida para caracterizar agregados naturais (de baixa porosidade e teor de finos), essa norma apresenta os seguintes problemas na caracterização de agregados de RCD:

- dificuldade na determinação visual da condição saturado superfície seca devido a forte coesão entre os grãos em algumas amostras;
- elevado tempo de caracterização, já que com a secagem inicial da amostra em estufa e saturação dos agregados em água, o processo dura no mínimo 24 horas, tempo que pode inviabilizar a caracterização no laboratório de uma usina de reciclagem;
- dificuldade de saturação de todos os poros, uma vez que foi comprovado que agregados reciclados não saturam em 24 horas sob pressão ambiente (LEITE, 2001).

Buscando a melhoria na caracterização de agregados graúdos de RCD reciclados, Damineli (2007), baseado no método da secagem no tempo (DIAS; AGOPYAN, 2004; KROPP, 2005) e da massa submersa ao longo do tempo e aplicação de vácuo (LEITE, 2001), propôs um novo meio de determinar as propriedades físicas de absorção, massa específica aparente e massa específica real destes agregados.

## 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Inicialmente coletou-se, segundo a NBR NM 26:2000, na Usina Soliforte (Campo Largo, Região Metropolitana de Curitiba), 2 amostras representativas de lotes de areias recicladas, uma proveniente de concretos e uma de argamassa. No Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná foram obtidas amostras de areia natural de rio e de areia artificial, bem como de blocos cerâmicos, que foram britados em britador de mandíbula de forma a se obter a quinta amostra. As amostras de campo foram reduzidas por quarteamento (Método B da NBR NM 27:2000) e após secagem em estufa, foram peneiradas na peneira da série normal de malha 2,36mm, buscando-se garantir a eliminação de possíveis partículas de agregados graúdos presentes nas amostras e manter mais homogênea a granulometria entre as mesmas. Desta forma deu-se início aos seguintes ensaios de caracterização, cujos resultados estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1 – Ensaios de Caracterização das Amostras.

Ensaio	Cerâmica	Argamassa	Concreto	Artificial	Natural
Massa Unitária (NM45:06), em kg/l	1,05	1,24	1,22	1,71	1,57
Teor de Finos (NM46:03), em %	15,4	14,6	7,1	7,7	5,5
Módulo de Finura (NM248:03)	2,27	2,40	2,41	2,54	2,41
Dim. Máx. Caract. (NM248:03), em mm	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

O planejamento experimental desta pesquisa baseou-se na avaliação das seguintes características do ensaio de absorção de agregado miúdo reciclado com o uso de micro-ondas: tempo de ensaio para a caracterização da absorção; variabilidade dos resultados de uma mesma amostra; influência do operador nos resultados obtidos; influência da natureza e características físicas do agregado reciclado; influência da potência do micro-ondas e massa da amostra nos resultados.

Assim, o procedimento da NM 30 foi realizado por 3 operadores diferentes, tendo-se feito, para cada amostra, 4 repetições deste ensaio, durante as quais variou-se a força de aplicação dos golpes e velocidade de retirada do molde. Desta forma, foi permitido analisar a possível diferença entre os resultados de absorção para estes agregados, gerada pela reprodutibilidade e até mesmo repetibilidade deste ensaio seguindo a norma atualmente vigente.

Já o ensaio de secagem por micro-ondas foi realizado apenas por 1 operador, o qual efetuou 2 repetições para cada amostra e potência do aparelho (20, 30 e 40%), além de uma terceira repetição do ensaio (para todas as amostras) com a potência eleita mais eficiente, levando em consideração o desvio padrão entre os resultados fornecidos por uma mesma potência, a duração do ensaio e a maior facilidade de percepção dos períodos de secagem através dos gráficos plotados a partir dos valores gerados. Durante todos os ensaios com o micro-ondas realizados até então, utilizou-se amostras de massa 300g. No entanto, para avaliar a representatividade desta porção, foram feitos, também, ensaios com 500g das amostras com a melhor potência encontrada. No entanto, apenas três ensaios se mostraram suficientes para o conhecimento da influência da massa de agregado miúdo neste ensaio. Tal procedimento de ensaio é descrito, resumidamente, a seguir: controlando a umidade relativa do ar do laboratório em  $50 \pm 4\%$ , o procedimento envolve a seguinte sequência de etapas:

- saturação da amostra em água e sob pressão de vácuo -500mmHg, por 30 minutos;
- pesagem da amostra recém-saturada em balança hidrostática, para determinação da massa submersa ( $M_{sub}$ ) em água;
- pré-aquecimento no forno micro-ondas, sob baixas potências e em recipiente apropriado, dos agregados totalmente imersos em água, pelo tempo necessário à estabilização da temperatura em que se processará a secagem do conjunto agregado/água (máxima temperatura atingida);
- interrupção do processo de pré-aquecimento em micro-ondas, com retirada de toda a água em excesso que cobre os agregados;
- reinício da secagem, com medida da massa do conjunto agregado/água (pré-aquecido e com pouca umidade livre) em intervalos de tempo periódicos até momentos próximos à estabilização da massa do conjunto. Estas medições geram uma tabela contendo os tempos  $t$  (período de leitura dos dados) e a massa do conjunto agregado/água relativa a cada instante  $t$ .
- cálculo da taxa de secagem a cada instante  $t$ , de acordo com a equação 2.

$$TaxaSecagem = \frac{[M_{conj.agreg / \acute{a}gua(t-1)}] - [M_{conj.agreg / \acute{a}gua(t)}]}{(t) - (t-1)} \quad [Eq. 1]$$

- plotagem do gráfico taxa de secagem (eixo y) versus tempo (eixo x). Neste são identificados os períodos de secagem em taxa constante (I) e em taxa decrescentemente linear (II e III).
- por regressão, extrapola-se o segundo período de taxa decrescentemente linear ao ponto, no eixo x (tempo), em que a taxa de secagem seria zero ( $y = 0$ ). Este é o instante  $t$  em que ocorre a  $M_s$  do material, sendo possível então determiná-la.
- cálculo do teor de umidade a cada instante  $t$ , de acordo com a equação 3.

$$TeorUmidade = \frac{M_{conj.agreg / \acute{a}gua(t)} - M_{sec a}}{M_{sec a}} \times 100 \quad [Eq.2]$$

- confecção do gráfico taxa de secagem correspondente (eixo y) versus teor de umidade (eixo x) do agregado durante os tempos  $t$  do ensaio, onde se identifica o período de secagem em taxa constante (período que se prolonga enquanto a umidade perdida é a umidade livre e que não está no interior dos poros) e o primeiro período em taxa linearmente decrescente (que se inicia logo após o final da taxa constante, quando a superfície de evaporação se desloca para as camadas interiores do sólido). Calcula-se então, por regressão, o ponto onde a equação do período de secagem em taxa decrescente linear atinge, no eixo y, o valor da taxa de secagem constante média calculada, e a projeção vertical deste ponto no eixo x indica a absorção do agregado;

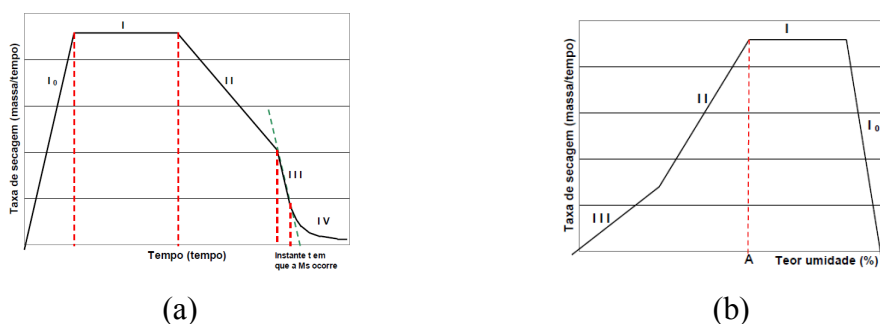


Figura 1- a) Esquema dos períodos de secagem (linhas pontilhadas) e do método de obtenção da  $M_s$  (reta inclinada pontilhada). b) Determinação da absorção no ponto de intersecção das fases de secagem I e II. Fonte: Daminieli (2007).

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS

### 4.1 Determinação da absorção de água pela NM30

A análise dos resultados obtidos a partir de cinco repetições do método de ensaio proposto pela NM30 para cada amostra de areia reciclada indica a alta variabilidade entre os valores de absorção encontrados por um mesmo técnico (repetibilidade) e por diferentes técnicos (reprodutibilidade), para todas as amostras analisadas. A maior variabilidade de resultados entre técnicos ocorreu para a amostras reciclada de materiais cerâmicos, provavelmente em função do maior teor de finos  $< 0,075$  mm desta amostra, que podem causar um efeito de coesão no cone moldado durante o ensaio de absorção.

Tabela 2 – Resultados obtidos pela NM30.

Técnico	Amostra	Cerâmica	Argamassa	Concreto	Artificial	Natural
1	Absorção Média (%)	15,0	5,7	8,5	0,9	1,2
	Coef. Variação (%)	16,7	25,3	16,9	3,4	41,0
2	Absorção Média (%)	1,9	1,5	4,2	0,7	0,3
	Coef. Variação (%)	21,3	10,9	14,1	24,5	13,1
3	Absorção Média (%)	9,2	1,2	4,9	0,6	0,5
	Coef. Variação (%)	45,7	31,1	20,4	29,6	16,1

Durante esta pesquisa percebeu-se que a velocidade de remoção do cone e a força de compactação utilizada causaram menor variabilidade de valores para areias não recicladas, confirmando, para estas, a eficiência do método proposto pela NM 30.

Entretanto, para as amostras de areias recicladas, ambas as variáveis influenciaram nos resultados, de forma diferenciada em função de o material apresentar maior ou menor coesão. Assim, pode-se afirmar que, para um mesmo grau de saturação, amostras com maior coesão tendem a sofrer maior influência da força de compactação do que da velocidade de remoção do molde. Já para os materiais mais arenosos ocorre o inverso. Desta forma, um mesmo grau de saturação pode apresentar diferentes valores de absorção conforme se varia a velocidade de remoção do cone e a força de compactação utilizada em agregados miúdos reciclados.

Neste caso, a determinação da absorção por secagem em micro-ondas já se apresenta mais interessante, uma vez que não há manuseio direto da amostra durante todo o procedimento, reduzindo, assim, problemas com a repetibilidade e reprodutibilidade do ensaio.

## 4.2 Secagem por micro-ondas

A interpretação das tabelas a seguir prova que, além de mais rápido, o procedimento apresenta-se, também, um pouco mais eficiente no que diz respeito à repetibilidade dos ensaios. Ainda assim, existem variações entre resultados de uma mesma amostra, o que pode ter sido causado pelo acréscimo da massa de amostra (quando esta deveria reduzir com o tempo) através da queda de gotículas que se desprendem da superfície superior interna do micro-ondas formadas pelo vapor de água condensado. Além disso, observa-se uma possível variação de resultados em função da definição da equação da reta de taxa decrescente 1 no gráfico taxa decrescente x teor de umidade. Em função dos valores considerados para se calcular a regressão linear da reta, pode-se haver uma variação nos resultados da absorção. Uma vez que o método é baseado na teoria de secagem no tempo, as altas taxas de absorção encontradas para as areias natural e artificial podem ser explicadas pelo fato de não possuírem tantos poros. Desta forma, acredita-se que sólidos de baixa porosidade podem obter resultados imprecisos por este método.

Tabela 3 – Resultados obtidos pela Secagem em micro-ondas (potência 30%).

Potência	Amostra	Cerâmica	Argamassa	Concreto	Artificial	Natural
20%	Absorção Média (%)	9,0	7,5	8,6	4,2	4,4
	Coef. Variação (%)	30,3	25,3	17,8	51,4	2,9
30%	Absorção Média (%)	8,6	7,7	8,6	2,6	4,7
	Coef. Variação (%)	33,3	8,1	5,7	35,5	6,6
40%	Absorção Média (%)	9,0	6,1	8,1	2,6	4,4
	Coef. Variação (%)	6,42	27,0	28,1	5,1	18,1

A utilização da potência de 30% mostrou-se mais eficaz que as demais (20 e 40%), uma vez que gerou gráficos com fases de secagens mais bem definidas e aumentou a velocidade do ensaio, fazendo com que não haja tempo para a condensação do vapor de água, reduzindo, em grande parte, a variabilidade dos resultados.

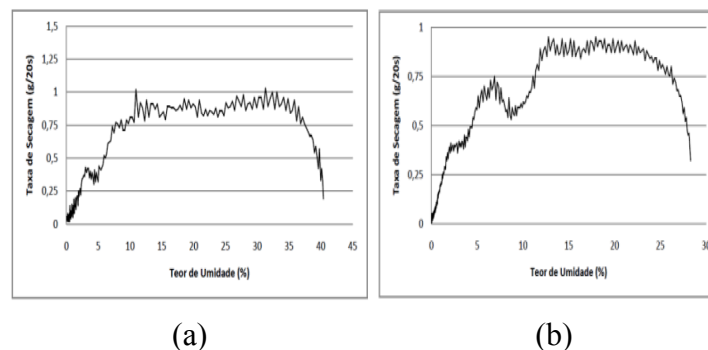


Figura 2 – a) Gráfico obtido pela potência de 30% apresentando fases de secagem bem definidas. b) Gráfico obtido com o uso de 500g de amostra apresentando grandes desníveis.

Notou-se também que uma quantidade de amostra maior dentro do recipiente significa uma maior espessura de material o que, considerando os pequenos vazios entre os grãos, pode dificultar a saída de vapor d'água. Nos ensaios realizados com agregado miúdo, entre amostras de 300g e 500g a espessura da camada material aumentou de 9 para 15 mm. Logo, a dificuldade da saída de vapor de água reduz a velocidade de secagem, gerando desníveis no gráfico que acarretam na perda de sensibilidade dos resultados de “taxa de secagem x teor de umidade”. Então, considerou-se que, para a dimensão do micro-ondas utilizado nos testes, a amostra de 300g mais viável que 500g.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo averiguou a viabilidade da caracterização da absorção de agregados miúdos de RCD reciclados através da NM 30, estudando sistematicamente, por comparação, novos procedimentos possíveis de realizar esta tarefa de forma mais eficaz. Os resultados experimentais apresentados demonstraram a alta variabilidade de valores obtidos através da NM30 para agregados reciclados, provando que, além de mais rápido, o método de secagem por micro-ondas reduz problemas de repetibilidade com o uso de 300g de amostra a uma potência do equipamento de 30%. Logo, o método proposto por Damineli (2007) adaptado para agregados miúdos mostrou-se mais rápido, além de trazer maior precisão e homogeneidade aos resultados. No entanto, tal procedimento ainda precisa ser aperfeiçoado quanto a determinação mais precisa da reta decrescente 1 no gráfico taxa de secagem x teor de umidade e a eliminação de problemas pela condensação do vapor de água durante o ensaio, de forma a se tornar capaz de garantir confiabilidade dos resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- DAMINELI, Bruno Luís. **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2007.
- DIAS, João Fernando; AGOPYAN, Vahan. **Determinação da absorção de agregados minerais reciclados porosos**. São Paulo: ANTAC, 2004.
- KROPP, J. **Bestimmung der Kernfeuchte wassergesättigter: Bauschuttzyklate anhand des Trocknungsverhaltens**. Amtliche Materialprüfungsanstalt Bremen. 2005.
- LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 128 – 01**: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Washington, 2001. 7p.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001. 3p.