

Classificação Automática de Partículas Finas de Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

Daisiana Frozi Brisola

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

Otávio da Fonseca Martins Gomes

Orientador, Eng. Químico, D. Sc.

Sidnei Paciornik

Co-orientador, Físico e Eng. Eletrônico, D. Sc., PUC-Rio

Resumo

A maior dificuldade encontrada na reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é a classificação e separação dos constituintes. O presente trabalho propõe um sistema de classificação automática de partículas finas de RCD provenientes de argamassa, cerâmica e concreto através da análise de forma e textura. Foram analisadas seis amostras de RCD, totalizando-se 17756 partículas. Na validação do sistema, obteve-se uma taxa de acerto global de 73,96%, sendo que, para as classes argamassa e cerâmica, as taxas foram ainda maiores (80,91% e 82,85%). Os parâmetros de forma, ao contrário do esperado, apresentaram valores muito semelhantes para as partículas das três classes. O uso de parâmetros de textura foi fundamental para a diferenciação das classes.

1. Introdução

No Brasil, os resíduos de construção e demolição representam cerca de 50% dos resíduos sólidos, sendo cerca de 90% de origem mineral. A reutilização e reciclagem destes resíduos tem despertado interesse crescente. A maior dificuldade que a reciclagem encontra é a classificação e separação dos constituintes dos resíduos (Angulo, 2005).

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia, baseada em microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise digital de imagens e reconhecimento de padrões, capaz de distinguir partículas finas de RCD provenientes de diferentes materiais. Foram analisadas amostras de RCD de argamassa, cerâmica e concreto, com o intuito de se buscar parâmetros quantitativos que sirvam de atributos em um sistema de classificação automática.

2. Materiais e Métodos

2.1. Amostras

Três amostras de RCD, respectivamente de argamassa, cerâmica e concreto, foram classificadas em série de peneiras. Alíquotas representativas das frações de 125 a 250 μm e de 250 a 500 μm de cada amostra foram embutidas em resina epóxi, lixadas e polidas de acordo com a preparação metalográfica tradicional. Por fim, os

seis corpos de prova foram recobertos com carbono, com o metalizador Bal-Tec SCD 005, para tornarem-se condutores, adequados à análise ao MEV.

2.2. Aquisição de Imagens ao MEV

O microscópio utilizado foi um LEO S440. Foram adquiridas 70 imagens de elétrons retro-espalhados (BSE) de cada uma das amostras, totalizando, assim, 420 imagens. A Figura 1 apresenta imagens típicas das seis amostras.

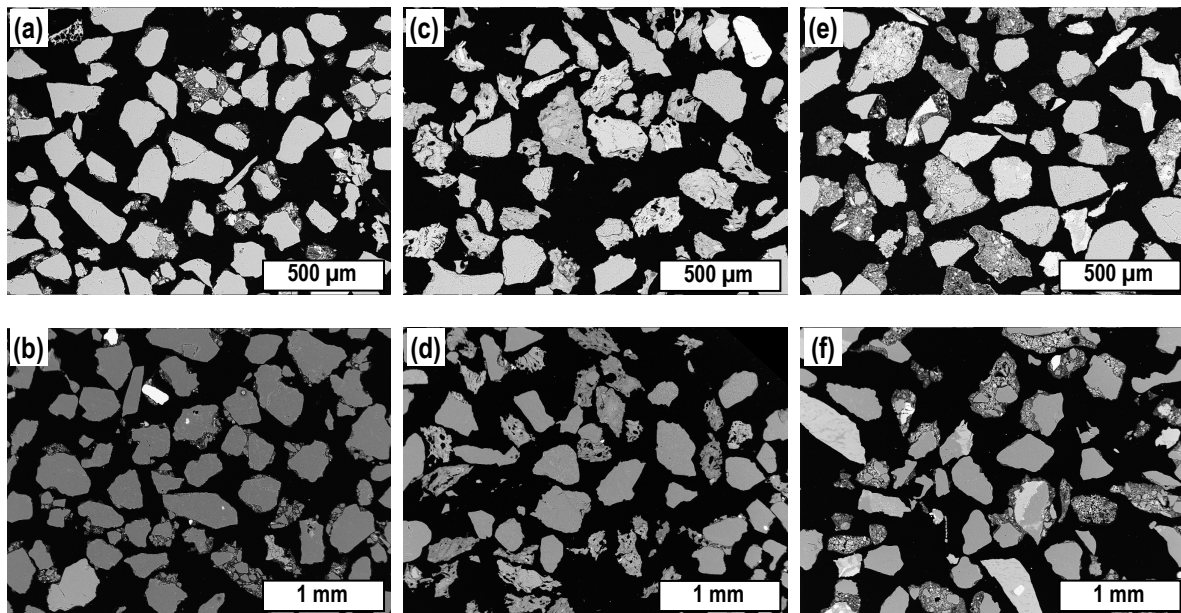


Figura 1. Imagens típicas das amostras: (a) argamassa (250-125 μm); (b) argamassa (500-250 μm); (c) cerâmica (250-125 μm); (d) cerâmica (500-250 μm); (e) concreto (250-125 μm); e (f) concreto (500-250 μm).

2.3. Análise Digital de Imagens

Todo o procedimento de análise de imagens, assim como o projeto e teste do sistema de classificação, foi realizado através de uma rotina implementada como macro no software Zeiss KS 400.

As imagens passaram pela seguinte seqüência de processamento e análise:

- a) segmentação das partículas, através de limiarização com um limiar fixo de 26;
- b) pós-processamento lógico e morfológico para:
 - preenchimento de buracos;
 - separação das partículas que se tocam, pelo método dos divisores de águas (Gonzalez & Woods, 2002);
 - eliminação de objetos espúrios, de partículas muito pequenas e de partículas nas bordas da imagem;
- c) medição dos parâmetros de forma, tamanho e/ou textura.

Devido à grande variabilidade dos tons de cinza das partículas, a etapa de segmentação foi feita inicialmente de forma interativa, com a escolha dos tons de corte realizada pelo operador. A faixa de corte selecionada foi 26 a 255, ou seja, todos os pixels com intensidade dentro desta faixa tonal tornaram-se brancos, enquanto os demais ficaram pretos. A partir de então, este limiar de 26 foi usado para as imagens de todas as amostras, efetivamente automatizando a segmentação.

O pós-processamento consistiu inicialmente no preenchimento de buracos, preparando as imagens para a operação de separação das partículas. Assim, em seguida, o método dos divisores de águas foi empregado para separar as partículas que se tocam. Este procedimento é fundamental para a correta delimitação das partículas e conseqüente medição dos parâmetros de forma. Os resultados obtidos foram, em geral, satisfatórios, apesar de ocorrerem quebras indevidas.

Ao final da etapa de pós-processamento, foram eliminadas partículas muito pequenas e partículas nas bordas das imagens a fim de se evitar medições equivocadas, principalmente de forma. A Figura 2 mostra duas imagens da amostra RCD de concreto 500–250 μm : a imagem original (a) e a imagem processada (b), pronta para a realização das medições.

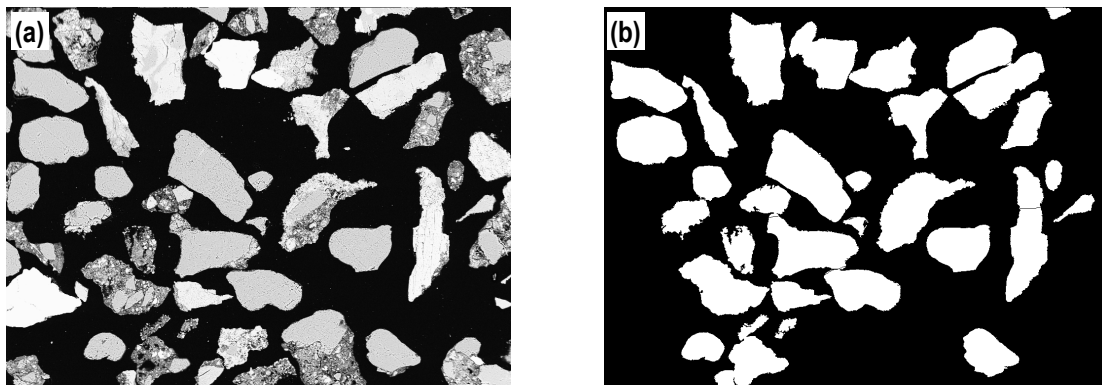


Figura 2. Imagens da amostra RCD de concreto 500-250 μm : (a) imagem original obtida ao MEV; (b) imagem processada, pronta para a realização das medições.

Foram medidos três grupos de parâmetros: forma, tamanho e textura. Os parâmetros de forma utilizados foram razão de aspectos, convexidade, solidez, circularidade e fator de forma circular. As definições matemáticas destes parâmetros podem ser encontradas em Gomes & Paciornik (2005). Já os parâmetros de tamanho empregados foram área e calibre máximo, também denominado Feret máximo.

A textura foi medida através da média e do desvio padrão dos tons de cinza das partículas e dos chamados parâmetros de Haralick (Haralick et al., 1973), que são medidas estatísticas da co-ocorrência de tons de cinza em pixels vizinhos. Especificamente, foram usados os parâmetros de Haralick 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

2.4. Classificação

Os parâmetros de forma, tamanho e textura foram utilizados como características e um classificador de Bayes foi empregado para reconhecer as três classes de RCD (argamassa, cerâmica e concreto), em um típico

procedimento de classificação supervisionada (Duda et al., 2001). O classificador foi treinado e validado com as próprias imagens das amostras. Foram realizados quatro treinamentos, variando-se as características usadas: parâmetros de forma; de forma e tamanho; de textura; e todos os parâmetros medidos.

3. Resultados e Discussões

No total, 17756 partículas foram medidas. A Tabela 1 e Tabela 2 mostram a média e o desvio padrão dos resultados obtidos na medição dos parâmetros de forma (linhas em cinza), tamanho (cor-de-laranja) e textura (azul) das partículas das amostras RCD de argamassa, cerâmica e concreto, respectivamente, nas frações 125 a 250µm e 250 a 500 µm.

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, os parâmetros de forma apresentaram valores muito semelhantes para os três tipos de materiais, nas duas faixas granulométricas. Já os resultados dos parâmetros de textura mostraram alguma diferença, vide, por exemplo, as médias de tons de cinza. Todavia, como esperado neste tipo de problema, nenhum parâmetro sozinho, seja ele de forma, tamanho ou textura, foi capaz de discriminar as amostras.

Tabela 1. Parâmetros medidos nas amostras com granulometria de 125 a 250 µm.

	Argamassa		Cerâmica		Concreto	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Solidez	0,84	0,08	0,80	0,10	0,83	0,08
Convexicidade	0,75	0,12	0,77	0,11	0,78	0,10
Fator de forma circular	0,47	0,17	0,45	0,18	0,49	0,16
Circularidade	0,52	0,13	0,46	0,14	0,48	0,14
Razão de aspectos	0,65	0,13	0,61	0,14	0,61	0,15
Área (pixels)	6509	5171	5779	4790	6815	5581
Feret máximo (pixels)	119	51	119	51	127	55
Haralick 1	0,24	0,16	0,07	0,08	0,09	0,11
Haralick 2	12,46	9,96	13,15	7,19	16,06	9,33
Haralick 3	0,19	0,15	0,13	0,13	0,17	0,14
Haralick 5	0,61	0,17	0,46	0,11	0,45	0,17
Haralick 6	19,70	4,48	21,18	3,25	21,43	4,12
Haralick 7	19,88	16,81	17,93	11,27	23,54	14,32
Haralick 8	2,95	0,92	3,51	0,59	3,62	0,81
Haralick 9	4,28	1,60	5,38	1,04	5,59	1,56
Haralick 10	7,59	4,47	7,34	3,59	8,16	3,37
Haralick 11	2,35	0,69	2,72	0,47	2,81	0,61
Média dos tons	161,72	35,29	173,68	25,44	175,62	32,30
Desvio padrão dos tons	45,59	17,20	45,60	12,42	51,27	13,88

Tabela 2. Parâmetros medidos nas amostras com granulometria de 250 a 500 µm.

	Argamassa		Cerâmica		Concreto	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Solidez	0,83	0,08	0,80	0,10	0,83	0,09
Convexidade	0,74	0,13	0,76	0,12	0,79	0,11
Fator de forma circular	0,46	0,18	0,46	0,18	0,49	0,17
Circularidade	0,51	0,12	0,47	0,13	0,48	0,14
Razão de aspectos	0,64	0,13	0,62	0,14	0,61	0,15
Área (pixels)	6266	5392	5628	4747	6724	5722
Feret máximo (pixels)	117	52	116	50	126	55
Haralick 1	0,24	0,16	0,09	0,09	0,16	0,15
Haralick 2	5,55	4,71	9,01	5,60	11,74	9,36
Haralick 3	0,16	0,15	0,14	0,13	0,20	0,16
Haralick 5	0,64	0,14	0,50	0,13	0,55	0,19
Haralick 6	13,14	1,47	16,94	1,68	17,75	3,57
Haralick 7	8,58	9,11	12,25	8,45	18,27	14,44
Haralick 8	2,66	0,78	3,28	0,69	3,21	1,01
Haralick 9	3,85	1,36	5,00	1,23	4,80	1,89
Haralick 10	3,34	2,25	4,82	2,58	6,20	3,65
Haralick 11	2,06	0,56	2,49	0,53	2,43	0,76
Média dos tons	111,01	11,70	140,71	13,19	146,69	28,30
Desvio padrão dos tons	29,32	11,46	36,64	11,03	42,83	16,01

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam as taxas de acerto obtidas na validação do sistema de classificação das três classes de RCD (argamassa, cerâmica e concreto), utilizando-se, respectivamente, como características: os parâmetros de forma; forma e tamanho; e textura. A Tabela 6 mostra as taxas de acerto da validação ao empregar-se todos os parâmetros como características.

Tabela 3. Resultado da validação usando somente a forma.

Classe	Taxa de Acerto (%)	Partículas classificadas como argamassa	Partículas classificadas como cerâmica	Partículas classificadas como concreto	Total
Argamassa	55,00	3385	1136	1634	6155
Cerâmica	37,65	1971	2309	1971	6132
Concreto	40,26	2077	1190	2202	5469
Total	44,47	5807	4635	5807	17756

Tabela 4. Resultado da validação usando a forma e tamanho.

Classe	Taxa de Acerto (%)	Partículas classificadas como argamassa	Partículas classificadas como cerâmica	Partículas classificadas como concreto	Total
Argamassa	55,60	3422	1266	1467	6155
Cerâmica	43,82	1699	2687	1746	6132
Concreto	40,15	1901	1372	2196	5469
Total	46,77	7022	5325	5409	17756

Tabela 5. Resultado da validação usando somente a textura.

Classe	Taxa de Acerto (%)	Partículas classificadas como argamassa	Partículas classificadas como cerâmica	Partículas classificadas como concreto	Total
Argamassa	80,94	4982	569	604	6155
Cerâmica	83,67	446	5094	548	6132
Concreto	52,02	1310	1314	2845	5469
Total	72,95	6738	6977	3997	17756

Tabela 6. Resultado da validação usando todos os parâmetros.

Classe	Taxa de Acerto (%)	Partículas classificadas como argamassa	Partículas classificadas como cerâmica	Partículas classificadas como concreto	Total
Argamassa	80,91	4945	534	633	6155
Cerâmica	82,85	415	5035	627	6132
Concreto	56,30	1182	1208	3079	5469
Total	73,96	6542	6777	4339	17756

Como pode ser visto na Tabela 3, ao usar somente os parâmetros de forma como atributos do sistema de classificação, a taxa de acerto global foi muito baixa (44,47%), indicando que não há diferença relevante na forma das partículas das três classes. Ao se adicionar os parâmetros de tamanho (Tabela 4), a taxa global aumentou um pouco, como era esperado, mas ainda manteve-se muito baixa (46,77%). Isto reforça a idéia de que não é possível utilizar a forma para diferenciar as partículas de RCD de argamassa, cerâmica e concreto.

Por outro lado, ao se empregar somente os parâmetros de textura (Tabela 5), a taxa de acerto global aumentou para 72,95%, e as taxas de acerto para as classes argamassa e cerâmica ficaram acima de 80%. Este resultado evidencia a importância da textura na diferenciação destas classes.

Por fim, ao empregar-se todos os parâmetros como características no sistema de classificação (Tabela 6), a taxa de acerto global atingiu 73,96% e as taxas de acerto para as classes argamassa e cerâmica mantiveram-se

altas, acima de 80%. Todavia, a taxa de acerto para classe concreto subiu um pouco, mas permaneceu baixa (56,30%).

4. Conclusões

Como esperado neste tipo de problema, nenhum parâmetro sozinho, seja ele de forma, tamanho ou textura, foi capaz de discriminar as três classes de partículas de RCD (argamassa, cerâmica e concreto). Por outro lado, ao se testar sistemas de classificação multi-variada, foram obtidos resultados melhores. Utilizando-se todos os 19 parâmetros testados, o sistema atingiu uma taxa de acerto global de 73,96%, sendo que, para as classes argamassa e cerâmica, as taxas foram ainda maiores (80,91% e 82,85%).

A principal limitação encontrada foi o reconhecimento da classe concreto. O melhor resultado obtido para sua taxa de acerto foi 56,30%.

Os parâmetros de forma, ao contrário do esperado, apresentaram valores muito semelhantes para as partículas das três classes de RCD. O uso de parâmetros de textura foi fundamental para a diferenciação das classes. Futuramente, os autores pretendem testar a capacidade de outros parâmetros neste sistema de classificação.

5. Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa de iniciação científica; ao professor Paulo Roberto Lopes Lima, da UEFS, pelas amostras; à arquiteta Bruna Maria da Cunha, pela ajuda na execução do trabalho; e à minha mãe.

6. Referências Bibliográficas

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236p. Tese (Doutorado) – Engenharia de construção civil e urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).

DUDA, R.O.; HART, P.E.; STORK, D.G. **Pattern classification**. 2 ed. Wiley-Interscience, 2001.

GOMES, O.F.M.; PACIORNIK, S. Automatic Classification of Graphite in Cast Iron. **Microscopy & Microanalysis**, v. 11, n. 4, p. 363-371, 2005.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Digital Image Processing**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2002.

HARALICK, R.M., SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 6, p. 610-621, 1973.