

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados  
da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais  
de Imagens**

**Victor Augusto Hilquias Silva Alves**

Dissertação de Mestrado  
**Victor Augusto Hilquias Silva Alves**

V. 1

PPGL  
IGEO  
UFRJ

2014

2014



UFRJ

**Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens**

**Victor Augusto Hilquias Silva Alves**

V. 1

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Orientador(es):

Emilio Velloso Barroso  
Laura Maria Goretti da Motta

Rio de Janeiro  
Maio de 2014

Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados da Região  
Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens

Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Orientadores: Emilio Velloso Barroso e  
Laura Maria Goretti da Motta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

Aprovada por:

---

Presidente: Helena Polivanov (PPGL/UFRJ)

---

Michéle Dal Toé Casagrande (PUC-Rio)

---

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães (IME)

Rio de Janeiro  
Maio de 2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

Alves, Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens [Rio de Janeiro] 2014.

xix, 121 p. (Instituto de Geociências – UFRJ, M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2014).

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências.

1. Caracterização Petrofísica e do Comportamento Geomecânico de Rochas e Fraturas

I – IG/UFRJ

II - Título (série)

[A Deus]

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer principalmente a Deus por me dar forças para conseguir concluir mais essa etapa na minha vida. Aos meus pais que me proporcionaram a oportunidade de morar no Rio de Janeiro para que eu pudesse chegar onde estou. Minha esposa Márcia, que me apoiou todo tempo e me ajudou muito, minha irmã que sempre esteve ao meu lado, aos meus amigos, ao DNIT/IPR que abriu as portas para mim, mesmo não dando certo a pesquisa inicial proposta por eles, foi por meio desta que me permitiu que chegasse até aqui. À professora Helena pelas dicas preciosas e principalmente para meus orientadores Emilio e Laura, que me ajudaram muito e com toda certeza sem eles esse meu sonho não seria realizado. Também é importante e necessário agradecer à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e pelos recursos disponibilizados para esta pesquisa através do Programa de Apoio à Pós-graduação (PROAP/CAPES). Agradeço também ao Programa de Pós-graduação em Geologia da UFRJ (PPGL-UFRJ) pela oportunidade para a realização do curso de mestrado e para o desenvolvimento desta pesquisa, agradecimentos que são extensivos ao LEMETRO do Departamento de Geologia da UFRJ (Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas) e ao Laboratório de Pavimentos da COPPE-UFRJ.

## RESUMO

### Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens

Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Orientadores: Emilio Velloso Barroso e Laura Maria Goretti da Motta

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

Um dos principais insumos para a construção civil são os agregados. Tendo em vista sua importância para o desenvolvimento do país, são necessários estudos cuidadosos das suas propriedades e aplicabilidade de cada tipo litológico. Este estudo tem foco na avaliação da resistência à degradação mecânica de agregados de pedreiras da Região Metropolitana do Rio de Janeiro em função de suas características geológicas. Foram investigados os seguintes tipos litológicos: granito da pedreira Lafarge; gnaisse granítico da pedreira Cispel e sienito/traquito da pedreira Vigné. A avaliação da resistência ao polimento foi verificada com base em imagens digitais obtidas no equipamento “*Aggregate Imaging System*” (AIMS) antes e após a realização dos ensaios de abrasão “*Los Angeles*”, impacto Treton e resistência ao esmagamento. Os referidos ensaios foram escolhidos por solicitarem os agregados em diferentes condições mecânicas e as propriedades avaliadas foram a forma, a angularidade e a textura superficial. Os resultados mostraram um melhor comportamento para os sienitos/traquitos presentes na pedreira Vigné devido à sua alta resistência mecânica, possivelmente relacionada à sua textura fina e, também possivelmente, pelo processo de hidrotermalismo que essa rocha sofreu, fazendo com que toda a sua matriz ficasse recoberta por um filme carbonático que deve ter contribuído para aumentar as suas propriedades de resistência.

Palavras-chave: Agregados; Rodovias; Mecânica das rochas; Processamento digital de Imagens;

Rio de Janeiro  
MAIO de 2014

**ABSTRACT****Resistance Evaluation to Mechanical Degradation of Aggregates in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro for Digital Images Techniques**

Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Orientadores: Emilio Velloso Barroso e Laura Maria Goretti da Motta

*Abstract* da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

One of the main inputs for the construction industry is the aggregate. Given its importance for the development of the country, a careful study of its properties and applicability of each lithologic type is required. This study focuses on the assessment of resistance to mechanical degradation of aggregates sampled from quarries in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro. The following rock types were investigated due their different geological characteristics: Lafarge quarry of granite ; granitic gneiss in Cispel quarry and sienite/trachyte in Vigné quarry. Evaluation of resistance to polishing was verified based on digital images obtained on the equipment "Aggreggate Imaging System" (AIMS ) before and after testing of abrasion " Los Angeles " , Treton impact and crush resistance. These tests were chosen by request aggregates in different conditions and mechanical properties were evaluated, such as shape, angularity and surface texture. The results showed a better performance for the syenites / trachytes present in the Vigné quarry due to its high mechanical strength , possibly related to its fine texture and also possibly by the hydrothermal process that this rock has undergone, making all aggregates covered by a carbonate film that must have contributed to increase its strength properties.

**Key-Words:** Aggregates, Highways, Rock Mechanics, Digital Image Processing

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE EQUAÇÕES	xx
1 INTRODUÇÃO	1
2 GEOLOGIA REGIONAL	3
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	7
3.1 TIPOS DE AGREGADOS	7
3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE	12
3.3 INFLUÊNCIA DE FORMATOS, ANGULARIDADE E RUGOSIDADE NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	14
3.3.1 Formato	14
3.3.2 Angularidade	16
3.3.3 Rugosidade	17
3.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À DEGRADAÇÃO	18
3.5 AVALIAÇÃO DIGITAL DE PROPRIEDADES DO AGREGADO	20
4 MATERIAIS E METODOS	23
4.1 GEOLOGIA LOCAL DAS PEDREIRAS E MÉTODOS DE BENEFICIAMENTO	23
4.1.1 Pedreira Cispel	27
4.1.2 Pedreira Vigné	31
4.1.3 Pedreira Lafarge	35
4.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA	37
4.3 LOS ANGELES	38
4.4 TRETON	39
4.5 ESMAGAMENTO	41
4.6 AIMS	42
4.6.1 Parâmetros do AIMS	44

5 RESULTADO E DISCUSÕES	47
5.1 ENSAIO DE PROPORÇÃO	47
5.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA	48
5.2.1 Lâmina Cispel 1	48
5.2.2 Lâmina Cispel 2	50
5.2.3 Lâmina Vigné 1	51
5.2.4 Lâmina Vigné 2	52
5.2.5 Lâmina Vigné 3	53
5.2.6 Lâmina Lafarge	54
5.3 LOS ANGELES	55
5.4 TRETON	58
5.5 ESMAGAMENTO	60
5.6 AIMS	62
5.6.1 AIMS após abrasão Los Angeles	63
5.6.2 AIMS após impacto Treton	78
5.6.3 AIMS após resistência ao esmagamento	84
5.6.4 Análise global	90
5.6.4.1 Los Angeles	90
5.6.4.2 Treton	99
5.6.4.3 Esmagamento	106
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXO (Tabelas de Granulometria)	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo físico de um pavimento asfáltico mostrando as camadas de uma pista de rodovia (Laboratório de Geotecnia da COPPE).....	11
Figura 2: Definição dos diâmetros dos agregados graúdos (comprimento, largura e espessura) (Evangelista et al, 2007).....	14
Figura 3 - Formato dos agregados (Ribeiro, 2006).....	16
Figura 4 - <i>Aggregate Image Measurement System (AIMS)</i> ( Laboratório de Geotecnia da COPPE).....	22
Figura 5 - Mapa geológico do Rio de Janeiro com as localizações das pedreiras estudadas (GEOBANK/ CPRM, 2001).....	24
Figura 6 – Série de peneiras e agitador mecânico utilizado nesta pesquisa (LEMETRO - Departamento de Geologia da UFRJ).....	25
Figura 7 - Exemplo da heterogeneidade dos agregados da pedreira Cispel na amostra coletada para este trabalho.....	26
Figura 8 - Heterogeneidade dos agregados da pedreira Vigné na amostra deste estudo: (a) antes de lavar e (b) depois do processo de lavagem e secagem.....	26
Figure 9 - Localização da pedreira Cispel (Imagem Google Earth, acessada em 27 de setembro de 2013).....	28
Figura 10 - Vista da frente da pedreira Cispel e algumas fraturas tectônicas marcadas.....	29
Figura 11 - Pedreira Cispel: (1) Rocha com os plagioclásios esverdeados (cloritização); (2) Gnaisse com porfiros de feldspatos; (3) Dique de pegmatito.....	29
Figura 12 - Britador de mandíbula primário da Pedreira Cispel.....	30
Figura 13 - Britadores cônicos secundário e terciário da Pedreira Cispel.....	30
Figura 14 - Localização da pedreira Vigné (Imagem Google Earth, acessada em 11 de outubro de 2013).....	31
Figura 15 - Frente da pedreira Vigné durante a visita deste estudo.....	32
Figura 16 - Frente da pedreira Vigné durante a visita deste estudo com duas famílias de fraturas tectônicas marcadas.....	33
Figura 17 - Pedreira Vigné: (1) e (2) Duas variações do sienito (3) traquito - amostras obtidas durante a visita deste estudo.....	33

Figura 18 –Britadores da pedraira Vigné durante a visita deste estudo.....	34
Figura 19- Britador primário de mandíbula da pedraira Vigné durante a visita deste estudo.....	34
Figura 20 - Britadores cônicos. (1) e (2) Britadores secundário, (3) britador terciário da pedraira Vigné durante a visita deste estudo.....	35
Figura 21 - Localização da pedraira Lafarge (Imagem Google Earth, acessada em 29 de outubro de 2013).....	35
Figura 22 - Fraturas encontradas na pedraira Lafarge durante a visita deste estudo .....	36
Figure 23 - Granito favela na pedraira Lafarge durante a visita deste estudo.....	37
Figura 24 – Serra diamantada usada para cortar fragmentos de rochas na confecção de lâminas delgadas (figura retirada da internet).....	38
Figura 25 - A- Serra para corte das esquírolas; B - Disco para desgaste da amostra. (figura retirada da internet).....	38
Figura 26 - Tambor do aparelho Los Angeles utilizado neste estudo (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ).....	39
Figura 27 - Aparelho Treton utilizado neste estudo (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ).....	40
Figura 28 - Prensa e célula para o ensaio de esmagamento, utilizada nesta pesquisa (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ).....	41
Figura 29: a) tela inicial do software. b) bandeja com os agregados graúdos colocados .c) Ciclo inicial tomando a forma 2D e angularidade das partículas. d) Ciclo final onde é medido a textura superficial. e) planilha com o resumo dos resultados e f) resultado de cada partícula. (Bessa, 2012).....	43
Figura 30 - Separação dos tipos da amostra Cispel deste estudo sendo da esquerda para direita : Pegmatito, gnaïsse com e sem hidrotermalismo.....	47
Figura 31 - Separação dos tipos da amostra Vigné deste estudo:	
(1) sienito, (2) traquito, (3) basalto.....	48
Figura 32 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o biotita gnaïsse da pedraira Cispel.....	49
Figura 33 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o biotita gnaïsse da pedraira Cispel. A direita fraturas em um feldspato, crescimento mirmequitico e esquerda sericita cobrindo um feldspato.....	50
Figura 34 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o traquito da pedraira Vigné. A esquerda cristais de nefelina no centro da foto, a	

direita mostrando, sem nicóis cruzados, a aparência muito alterada devido ao carbonato que cobre todos os minerais da lâmina.....	51
Figura 35 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o traquito da pedreira Vigné. A esquerda cristais de nefelina no centro da foto, a direita mostrando, com nicóis cruzados, a aparência muito alterada de um feldspato devido ao carbonato que cobre todos os minerais da lâmina.....	52
Figura 36 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o sienito da pedreira Vigné.....	53
Figura 37 - Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o granito da pedreira Lafarge. A esquerda sericitas cobrindo os K-feldspatos, plagioclásios e quartzos; A direita cristal de biotita apresentando alteração para clorita e muitas fraturas nos outros minerais incolores presentes na lâmina.....	54
Figura 38 – Biotita - gnaisse da pedreira Cispel antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa.....	56
Figura 39 – Traquito e sienito da pedreira Vigné antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa.....	56
Figura 40 – Granito da pedreira Lafarge antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa.....	57
Figura 41 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio abrasão Los Angeles.....	58
Figura 42 - Antes e depois da realização do ensaio de impacto Treton das três pedreiras estudadas.....	59
Figura 43 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio impacto Treton.....	60
Figura 44 - Antes e depois da realização do ensaio de resistência ao esmagamento das três pedreiras estudadas.....	61
Figura 45 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio de resistência ao esmagamento.....	62
Figura 46 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	64
Figura 47 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	64
Figura 48 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	65

Figura 49 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	65
Figura 50 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	66
Figura 51 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	66
Figura 52 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	67
Figura 53 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	68
Figura 54 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.....	68
Figura 55 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Vigné.....	69
Figura 56 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Vigné.....	70
Figura 57 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Vigné.....	70
Figura 58 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	71
Figura 59 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	71
Figura 60 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	72
Figura 61 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	72

Figura 62 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	73
Figura 63 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.....	73
Figura 64 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneiras de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	74
Figura 65 – Angularidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	74
Figura 66 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	75
Figura 67 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	75
Figura 68 – Textura comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	76
Figura 69 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	76
Figura 70 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	77
Figura 71 – Esfericidade comparativa, entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	77
Figura 72 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.....	78
Figura 73 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaisse da pedreira Cispel.....	79

- Figura 74 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaisse da pedra Cispel.....79
- Figura 75 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaisse da pedra Cispel.....80
- Figura 76 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedra Vigné.....81
- Figura 77 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedra Vigné.....81
- Figura 78 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedra Vigné.....82
- Figura 79 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedra Lafarge.....82
- Figura 80 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm ), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedra Lafarge.....83
- Figura 81 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm ), obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedra Lafarge.....83
- Figura 82 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaisse da pedra Cispel.....84
- Figura 83 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm), obtido antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaisse da pedra Cispel.....85
- Figura 84 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm), obtido antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaisse da pedra Cispel.....85
- Figura 85 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedra Vigné.....86
- Figura 86 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras

(abertura 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedra Vigné.....	87
Figura 87 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedra Vigné.....	87
Figura 88 – Angularidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedra Lafarge.....	88
Figura 89 – Textura comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedra Lafarge.....	89
Figura 90 – Esfericidade comparativa, entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm), obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedra Lafarge.....	89
Figura 91 – Angularidade antes e depois do ensaio Los Angeles para as peneiras de 12,5mm e 9,5mm.....	91
Figura 92 – Variação da angularidade e em relação ao estado inicial do agregado.....	92
Figura 93 – coeficiente de variação antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles.....	93
Figura 94 – textura média antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles.....	94
Figura 95 – variação da média da textura em relação ao estado inicial dos agregados.....	95
Figura 96 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles.....	95
Figura 97 – Esfericidade antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles.....	96
Figura 98 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado dado em %.....	97
Figura 99 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles.....	97
Figura 100 – Angularidade antes e depois do ensaio Impacto Treton.....	100
Figura 101 - Variação da angularidade em relação ao estado inicial do agregado dado em %.....	101

Figura 102 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio impacto Treton.....	101
Figura 103 – Textura antes e depois do ensaio de impacto Treton.....	102
Figura 104 - Variação da Textura em Relação ao Estado Inicial do Agregado dado em porcentagem.....	103
Figura 105 – Coeficiente de Variação antes e depois do ensaio de impacto Treton.....	103
Figura 106 - Esfericidade média antes e depois do ensaio impacto treton.....	104
Figura 107 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado em porcentagem.....	105
Figura 108 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio impacto Treton.....	105
Figura 109 - Angularidade medida antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento.....	107
Figura 110 – Variação da angularidade em relação ao estado inicial do agregado.....	108
Figura111 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento.....	108
Figura 112 - textura média antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento.....	109
Figura 113 – Variação da textura em relação ao estado inicial do agregado dado em porcentagem.....	110
Figura 114 - Coeficiente de variação antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento dado em porcentagem.....	110
Figura 115 – Esfericidade antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento.....	111
Figura 116 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado dado em porcentagem.....	111
Figura 117 – Coeficiente de Variação antes e depois de ser submetido ao ensaio de resistência ao esmagamento dado em porcentagem.....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites granulométricos de agregado graúdo (Ribeiro 2006).....	9
Tabela 2: Peneiras x abertura em mm correspondente as bandejas utilizadas no AIMS.....	44
Tabela 3 – Classificação de forma e textura pelo AIMS (Al Rousan, 2004).....	46
Tabela 4 – Minerais da lâmina Cispel 1 e suas porcentagens.....	49
Tabela 5 – Minerais da lâmina Cispel 2 e suas porcentagens.....	51
Tabela 6 – Minerais da lâmina Vigné 1 e suas porcentagens.....	52
Tabela 7 – Minerais da lâmina Vigné 2 e suas porcentagens.....	53
Tabela 8 – Minerais da lâmina Vigné 3 e suas porcentagens.....	54
Tabela 9 – Minerais da lâmina Lafarge e suas porcentagens.....	55
Tabela 10 – Valores do desgaste Los Angeles para as amostras do presente trabalho comparado aos de Ribeiro (2006) para as mesmas pedreiras.....	57
Tabela 11 – Valores do desgaste das rochas após o ensaio Treton para o presente trabalho e Ribeiro (2006).....	59
Tabela 12 – Valores do desgaste das rochas após o ensaio de resistência ao esmagamento para o presente trabalho e o de Ribeiro (2006).....	61
Tabela 13 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de abrasão Los Angeles.....	98
Tabela 14 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de impacto Treton.....	106
Tabela 15 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de resistência ao esmagamento.....	112

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) – Proporção de um determinado tipo litológico na massa de Agregados analisada.....	27
Equação (2) – Resistência à Abrasão <i>Los Angeles</i> .....	39
Equação (3) – Impacto Treton.....	40
Equação (4) – Resistência ao Esmagamento.....	41
Equação (5) - Forma 2D.....	44
Equação (6) - Esfericidade.....	45
Equação (7) - Gradiente de Angularidade.....	45
Equação (8) - Textura Superficial.....	46
Equação (9) - Variação da Média.....	92

## 1. INTRODUÇÃO

Um país com o tamanho do Brasil, dada a diversidade geológica de seu território, necessita estudar vários tipos de agregados, associando a origem geológica às suas características físicas e ao seu comportamento mecânico que atendam melhor às necessidades de cada tipo de obra.

No caso da engenharia rodoviária, as dimensões, angularidade e rugosidade das partículas influenciam muito na qualidade de construção da pista de rolamento e no pavimento como um todo, estando diretamente relacionada: resistência ao cisalhamento; distribuição da estrutura interna de misturas asfálticas; dosagem de concreto; adesão entre as partículas de cimento/ligante e agregados; propriedades resilientes de sub-base e base de pavimentos; compactação e desempenho de misturas asfálticas (Castelo Branco et al., 2006). No livro da ABGE (1998) são citados outros usos para agregado como: concreto hidráulico, lastro de ferrovia, enrocamentos e filtros para drenagem, que certamente exigem características parecidas, mas muitas diferentes para cada aplicação.

Muitos estudos associam o desempenho dos agregados graúdos em rodovias (Castelo Branco *et al*, 2006; Bessa, 2012; Rezaei, 2010) e em outras aplicações (Ribeiro, 2006; Brattli, 1992); com a forma dos grãos (mais ou menos cúbica, angulosa ou não, lisa ou não, etc). Estas características podem ser avaliadas por métodos diretos ou indiretos, para obtenção dos principais fatores que descrevem a forma (Castelo Branco et al., 2006). No caso dos métodos diretos são feitas medidas diretamente nas partículas, enquanto que nos indiretos, os atributos de forma são deduzidos por correlações com outras características físicas do próprio agregado.

Um exemplo de método direto de caracterização de forma relativamente novo, o Aggregate Imaging System (AIMS), desenvolvido por Eyad Masad (2005), é baseado em aquisição e processamento de imagens com resoluções variadas. Este método é capaz de executar análises em duas dimensões (2D) e em três dimensões (3D) para distinguir características de forma, angularidade e textura (Al - Rousan, 2004; Al – Rousan et al., 2005; Castelo Branco et al., 2006).

Este trabalho tem foco na avaliação da resistência à degradação, além de verificar eventuais variações de forma de agregados, obtidos em pedreiras da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, em função de suas características geológicas. O AIMS foi empregado para caracterizar as amostras de variadas litologias antes e após serem submetidas aos ensaios de Abrasão Los Angeles, Impacto Treton e Esmagamento.

Como objetivos específicos têm-se os seguintes:

- Avaliação das variações de forma de agregados de 3 pedreiras da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, após cada um dos ensaios de desgaste ou abrasão, em função de suas características geológicas.

- Utilizar um novo equipamento como ferramenta de caracterização da forma e textura de agregados - Aggregate Imaging System (AIMS) - para caracterizar as amostras de variadas litologias antes e depois dos ensaios de Abrasão Los Angeles, Impacto Treton e resistência ao esmagamento, para se averiguar o desgaste sofrido por esses agregados,

- Tentar correlacionar as mudanças de forma e textura com a mineralogia e textura de cada tipo de rocha estudada.

Para este estudo foram coletadas amostras de brita na pedreira Vigné, localizada em Nova Iguaçu, na pedreira Cispel, situada no município de Niterói e da pedreira Lafarge no município do Rio de Janeiro.

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos:

- Introdução – parte introdutória e explicativa, onde são mostrados os objetivos e o foco da dissertação.

- Localização e contexto geológico regional das pedreiras visitadas na pesquisa com toda a geologia do Rio de Janeiro.

- Revisão bibliográfica – análises das bibliografias sobre o assunto abordado na atual pesquisa.

- Materiais e Métodos – Fornece informações de como o estudo foi feito e

todas as normas usadas para os ensaios presentes na pesquisa.

- Resultados e Discussões – Resultados obtidos na pesquisa, comparando as três pedreiras entre si e com resultados alcançados com trabalhos anteriormente publicados, sendo visto o desgaste real de cada tipo de agregado para cada tipo de ensaio.
- Conclusões – exposição final das ideias sobre os resultados alcançados

## **2. GEOLOGIA REGIONAL**

A geologia da região metropolitana do Rio de Janeiro tem uma história de formação e deposição que vai do mesoproterozoico ao recente, tendo grande variedade de rochas de todos os tipos básicos: ígneas, metamórficas e sedimentares. Faz-se, a seguir uma breve descrição da geologia do Rio de Janeiro baseada no mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro publicado pelo CPRM em 2001.

No período mesoproterozóico, tem-se o evento brasileiro que deu origem a faixa ribeira que constituem as unidades e complexos representados no mesoproterozóico. O complexo Paraíba do Sul que está espalhado pelo território do Estado do Rio de Janeiro e representado pela unidade São Fidélis, composto por Granada - biotita - silimanita gnaiss, quartzo - feldspático (meta grauvaca) com bolsões e veios anatéticos in situ ou injetados de composições de gnaiss calcissilicático e quartzito, frequentes. Variedades com cordierita e silimanita (kinzigito) com rocha calcissilicática metacarbonática(ca) e quartzito em raros domínios com baixa taxa de deformação e estruturas turbidídicas preservadas.

As rochas Neoproterozóicas são associadas ao evento brasileiro, na sua segunda fase de colisão, dando origem a suítes e unidades importantes, seus eventos datam de aproximadamente 650Ma até 560Ma. A unidade Duas Barras é uma faixa de direção SW - NE que começa em Mangaratiba, sendo composta de fácies homogêneas, folheadas de composição tonalítica, intrudidas por veios e

bolsões de granito tipo S. Com mesma direção e localização, diferenciando em maior extensão, ocorre a Unidade Rio Negro, que é Ortognaisse Bandado, tipo TTG, de granulação grossa e textura porfírica, recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial e intercalações de metagabro e metadiorito, deformados em fáceis anfíbolitos, ocorrem localmente intrusões de granada leucogranito tipo S e de apófises de granitóides do Batolito Serra dos Órgãos ocorrendo localmente, também existem plútons correlatos: Gnaiss Archer, Gnaiss Tingui, Complexo Trajano de Morais e Complexo Capim Angola.

O Leucogranito Gnaiss da Serra do Paquequer (Muscovita - biotita leucogranito e silimanita - granada - biotita gnaiss de granulação grossa com forte foliação tangencial, rico em restos de paragnaisse), localizado no centro norte fluminense, junto com as unidades Duas Barras e Rio Negro são granitos pré a sincolisionais.

Ainda no Neoproterozóico teve o surgimento dos granitos tardi-colisionais, sendo representados por:

1. Unidade Santo Aleixo, fácies marginais do batolito Serra dos Órgãos, constituído por granada - hornblenda - biotita granodiorito rico em xenólitos de paragnaisse e injeções tardias de leucogranito tipo – S, sendo localizado na região central do estado;

2. Suite Serra dos Órgãos - Unidade Serra dos Órgãos, granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica e granítica, composição cálcio - alcalina, texturas e foliação magmáticas conservados, sendo encontrado na região central fluminense;

3. Suite Desengano, granitos de granulação grossa tipo - S, contendo granada, muscovita e biotita, sua textura é megaporfírica, tendo também foliação tangencial, sendo observados com frequência xenólitos de paragnaisse e localmente manchas de charnockíticas;

4. Suite Rio de Janeiro, (a pedreira Cispel representa esta suite neste presente estudo), contém os granitos Corcovados (Granito tipo S, com granada,

biotita e muscovita, apresentando textura megaporfirítica, apresentando uma superposição de foliação tangencial e xenólitos e restos de paragnaisse como aplitos de leucogranitos tipo S tardios), Pão de Açúcar (Fáceis metaluminosa do granito Corcovado) e leucogranito gnássico Cosme Velho (Leucogranito tipo S com granulação média, textura granoblástica e forte foliação tangencial. Xenólitos de paragnaises são abundantes, tendo como localização o município do Rio de Janeiro e região metropolitana;

No terceiro evento brasileiro neoproterozóico em que foi gerado o granito tardi-colisional, representado pela Suite Serra das Araras, que é constituído pelo granito duas micas do tipo S de granulação grossa equigranular a porfirítico, com foliação transcorrente, rico em enclaves de paragnaisse, tendo diversos plutons correlatos. Ele está presente de sul a norte limitado a uma faixa que tem direção SW-NE;

No período paleozoico, cambriano, têm-se indícios de três eventos magmáticos pós – tectônicos, descritos a seguir:

1. Plútons pós - tectônicos máficos toleíticos, localizado próximo a Papucaia e dentro do município do Rio de Janeiro, é dividido em quatro grupos como segue:

- Complexo básico de Gleba Ribeira: Norito, olivina gabro, melanorito, micronorito, micromelanodorito, metamicrogabro, anfibólio, diorito gnáissico;

- Gabro Tijuca: gabro alterado, piroxênio tonalito, diorito, quartzo diorito e tonalito;

- Maciço gabróico de Amparo: olivina gabro, tonalito, gabronorito;

- Intrusão ultrabásica de Areal: serpentinito, peridotito serpentizado, brecha peridotítica, diopsídio peridotítico, lhezolito augítico.

2. Granitóides pós-tectônicos formados de hornblenda - biotita, granitóides do tipo I, granulações fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservado. Ocorrem como corpos tabulares, diques, stocks e pequenos batólitos cortando as rochas regionais, como também plútons homogêneos, algumas vezes como evidências de magma mingling

e mixing. Fases apliticas tardias são abundantes.

Existem diversos trabalhos na literatura sobre cada corpo granítico que totalizam 23 mapeados, segundo o mapa publicado pela CPRM 2001, que são: Granito São Pedro; Granito São José do Ribeirão; Granito Caju; Granito Anta; Maciço Pedra Branca; Granito Cassorotiba; Granito Teresópolis; Granito Favela; Granito Nova Friburgo; Granito Morro dos Frades; Granito Sana; Granito Suruí; Granito Andorinha; Granito Ipiranga; Granito Alvim Cesário; Granito Utinga; Granito Silva Jardim; Granito Mangaratiba; Granito Mamucaba; Granito Angra; Granito Carrasquinho; Granito Itaoca; Granito Morro do Coco. Destaca-se o granito favela, que é a rocha presente na pedreira Lafarge, que é uma das amostras do estudo dessa pesquisa.

3. Ainda dentro desse magmatismo pós - tectônico, já no fim do cambriano tem-se o Maciço alcalino Canaã, localizado próximo ao município de Xerém, composto de Nefelina sienito, albita-microclina-nefelina sienito/lichtfieldito, nordmarkito, foiaito, pulaskito, hornblenda sienito, hedembergita sienito, traquito com bandamento magmático e pegmatitos de estágios tardios com safirina.

Já no cretáceo/terciário ocorreu um magmatismo de rochas alcalinas referente à separação da América do Sul com a África, sendo um Hot Spot, conseqüentemente tendo vários corpos pelo Estado do Rio de Janeiro, apresentando registros desde Itatiaia (registros mais antigos) até a ilha de Cabo Frio (registros mais novos), totalizando 14 corpos alcalinos, sendo eles: 1) Intrusão alcalina da ilha de Cabo Frio; 2) Suite Alcalina de Tinguá; 3) Maciço Alcalino da Serra do Mendanha; 4) Complexo Alcalino de Itaúna; 5) Maciço Alcalino de Tanguá; 6) Maciço Alcalino de Soarinho; 7) Maciço Alcalino de Rio Bonito; 8) Maciço do Morro dos Gatos; 9) Maciço da Serra dos Tomazes; 10) Intrusão Alcalina de Marapicu; 11) Maciço Alcalino de Passa Quatro; 12) Maciço Alcalino de Itatiaia; 13) Maciço Alcalino de Morro Redondo (brecha magmática Alcalina); 14) Maciço Alcalino do Morro São João.

É importante destacar o Maciço Alcalino da Serra do Mendanha onde se localiza a pedreira Vigné, que também foi um dos alvos deste presente estudo. A composição geral dessas rochas alcalinas é: Sienitos, nefelinasienitos, foyaitos,

fonolitos, traquitos, tinguaitos, pulaskitos umptekititos, fenitos.

No fim do neogeno ocorreu a deposição do Grupo Barreiras, que são depósitos detríticos pobremente selecionados com granulometria de cascalho, areia argilo-arenosa e argilas, geralmente contendo horizontes lateríticos, restantes da variação do nível do mar; esse grupo está localizado no norte fluminense e se estende até a região nordeste do país.

Por fim têm-se os depósitos quaternários que são os seguintes: (1) Depósito de Restinga, (2) Depósito Marinho e Flúvio - marinho, (3) Depósito Flúvio - Lacustre (4) Depósito Colúvio – Aluvionar.

As descrições mais detalhadas e localização das pedreiras presentes neste estudo estão no capítulo 4.1 “geologia local das pedreiras e Métodos de Beneficiamento”.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 TIPOS DE AGREGADO**

De acordo com a norma ABNT NBR 9935/2005, que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é definido como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

Segundo DNPM (2009) os agregados são definidos como materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedade estabelecida para uso em obras de engenharia civil e quando tem sua origem em ação mecânica promovida pelo ser humano, é caracterizado como artificial, como a brita ou areia britada, ou por ação da própria natureza, sendo assim chamado de natural, tendo como exemplo as areias e cascalhos.

No caso de pavimentação é também cada vez mais comum o uso de

agregados artificiais tais como escórias de aciaria, agregado de argila calcinada, resíduos de rochas ornamentais, etc.

A importância dos agregados para o desenvolvimento da sociedade é muito grande, sendo o insumo mais consumido no mundo, tendo legislação diferenciada para a sua exploração no Brasil. Os agregados podem ser naturais ou processados (blocos de rocha transformados em grãos de tamanho diversos, chamados britados – transformados em britas), simplificada e agrupando. Em geral, não há estatísticas muito precisas da exploração dos agregados naturais tendo em vista a grande extensão territorial e a falta de fiscalização.

No caso dos agregados britados, o mercado consumidor de brita no Brasil indica: 40% são destinados para pavimentação e órgãos públicos, 17% para concreteiras, 16% para revendedores e varejo, 15% para construtoras, 7% para indústria de prefabricados e 5% para usos diversos (enrocamento, lastro e etc). Vê-se assim como este material tem importância no desenvolvimento do país por se destinar a toda infraestrutura habitacional e de meios de transportes (Ribeiro, 2006).

Também pode-se classificar o agregado pela sua densidade, que é determinada pela densidade dos minerais constituintes do agregado, dividindo em três famílias: leves (pedra pomes, vermiculita, argila, etc.), normais (areias, pedregulhos e pedras britadas) e pesados (barita, magnetita, limonita, etc.).

Outro tipo de classificação usada é quanto à granulometria de cada grão ou fragmento, e, segundo a norma ABNT NBR 7211, tem-se: miúdo, quando varia de 4,8mm até 0,075mm (segundo as normas do DNIT essa variação é de 2,0mm a 0,075mm) e grúdo quando sua variação é de 4,8mm até 152mm (para o DNIT essa variação é de 2,0mm até 152mm). Este trabalho se limitará ao estudo de agregados artificiais britados grúdos, coletados em três pedreiras da região metropolitana do Rio de Janeiro.

A brita tem aplicação quase exclusiva na construção civil, sendo as rochas utilizadas: granito e gnaiss 84%; calcário e dolomito 10%; basalto e diabásio 5% e 1 % outras rochas (CHIOSSI, 1979).

Quanto à graduação, o mais comum nas pedreiras brasileiras é a separação da brita graúda em 6 classes, nomeadas de 0 a 5, sendo cada uma representada por limites granulométricos máximos e mínimos numa série convencional de peneiras de malha quadrada; as classes 0, 1 e 2, de tamanho nominal máximo menores sendo as mais comuns para uso na pavimentação asfáltica. Cada classe admite uma faixa de granulometria (tabela 1 de Ribeiro, 2006), esse tipo de classificação é muito usada no Rio de Janeiro, porém existem algumas regiões que não a usam mais.

Tabela 1 - Limites granulométricos de agregado graúdo (Ribeiro 2006)

Graduação	Limites granulométricos de agregado graúdo											
	Peneiras em mm											
	76	64	50	38	32	25	19	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4
0	-	-	-	-	-	-	-	-	0-10	-	80-100	95-100
1	-	-	-	-	-	0	0-10	-	80-100	92-100	95-100	-
2	-	-	-	-	0	0-25	75-100	90-100	95-100	-	-	-
3	-	-	0	0-30	75-100	87-100	95-100	-	-	-	-	-
4	0	0-30	75-100	90-100	95-100	-	-	-	-	-	-	-
5 <sup>A</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5<sup>A</sup> - Para determinadas obras ou concretos, o consumidor pode pactuar com o produtor o fornecimento de agregados cuja variabilidade em suas características difira dos limites indicados.

Obs: A peneira 152mm, sem nenhum limite, foi suprimida da tabela.

Quanto ao comportamento nas misturas asfálticas, Bernucci et al (2010) citam algumas diferenças na escolha dos agregados, que devem ser consideradas se possível, na aplicação com os ligantes tais como: (i) Agregados silicosos tornam-se carregados negativamente na presença de água enquanto que rochas ricas em cálcio, magnésio, alumínio e ferro conduzem cargas positivas na presença de água. (ii) Rochas ácidas tendem a ter deficiência em adesividade, em contraponto as

rochas de composição básicas tem adesividade ao ligante asfáltico muito boa.

É importante salientar o uso de materiais alternativos no meio rodoviário, para se substituir os agregados britados, principalmente em regiões como o norte do Brasil, que não tem pedreiras em grande parte do seu território pela formação geológica local. Neste caso é comum o uso de seixo rolado e areia de rio, que nem sempre conseguem preencher todos os requisitos para a sua utilização na pavimentação.

Como citado em Ribeiro (2006), o uso do agregado na construção civil é diverso, sendo usado praticamente em todo tipo de obra, em misturas asfálticas e concretos de cimento Portland, com adição de um aglutinante, ou ainda soltos como filtros, em obras de contenção e lastro de ferrovias.

Concreto hidráulico (ou concreto de cimento Portland) é uma mistura de agregados graúdos e miúdos, cimento Portland e água em proporções tais que a mistura alcance certa plasticidade adequada para o seu manuseio (ABGE, 1998). A proporção de agregado para o cimento é tipicamente uma relação de 95% para 5% em peso.

Segundo Petrucci (1975), o agregado: (i) diminui o custo da obra, devido à economia do cimento. (ii) Aumenta a resistência mecânica e química do concreto. (iii) Reduz as possíveis variações de volume que pode ser proveniente de várias causas (térmicas, por exemplo).

Concreto asfáltico é uma mistura de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico de petróleo (CAP), que é um ligante eficiente para unir o esqueleto mineral formado pelos agregados, resistir às cargas do tráfego e impermeabilizar a estrutura do pavimento. É um de vários tipos de mistura asfáltica que se pode usar na pavimentação, sendo o mais resistente e durável. Também no concreto asfáltico a proporção típica entre agregados e ligante é de 95% de pedra e 5% de ligante.

Em rodovias o agregado possui aplicabilidade em todas as camadas da pista de rolamento: o pavimento asfáltico é uma estrutura em camadas, onde no topo tem-

se a capa que é constituída de uma mistura asfáltica (sendo essa mistura de composição variada, de acordo com os agregados disponíveis e o uso da estrada, como a quantidade de veículos que passa no local por dia e seus respectivos pesos máximos). Em seguida tem-se base, sub - base e subleito (figura 1), cada uma com granulometria variada dependendo do tipo de pavimento em função do volume de tráfego e condições ambientais.



Figura 1 - Modelo físico de um pavimento asfáltico mostrando as camadas de uma pista de rodovia (Laboratório de Geotecnia da COPPE)

O pavimento tem como função principal: (i) resistir as forças cisalhantes aplicadas pelo tráfego. (ii) dar melhor conforto e segurança aos veículos que trafegam na via. (iii) distribuir para as camadas inferiores e resistir às forças verticais aplicadas na rodovia.

No caso do lastro de ferrovia, são usados agregados com distribuição granulométrica de acordo com normas estabelecidas, em geral variando de 2 a 7 cm. O pavimento ferroviário tem seção transversal constituída por plataforma, sublastro, lastro, dormente e trilho. A função principal do lastro é (ABGE, 1998): (i) dar sustentabilidade aos dormentes e distribuir as cargas uniformemente sobre toda superfície da plataforma; (ii) fazer uma boa drenagem, para evitar a saturação e o

colapso dos dormentes; (iii) evitar o deslocamento dos dormentes. (iv) dificultar o crescimento de vegetação na via; (v) impedir a subida de lama quando houver a saturação; (vi) permitir elasticidade para a via.

A utilização de agregado para obras de contenção de taludes e barragens, está diretamente ligada aos enrocamentos, muros de gravidade e filtros para drenagem. Também servem como elemento de transição para evitar carreamento de partículas dos aterros pela ação de chuvas ou por desagregações, pelo umedecimento e secagem e para construir barramentos provisórios (ABGE, 1998).

Os filtros de drenagem são importantes para manter a integridade física da obra: (i) orientando os caminhos preferenciais da água para evitar erosões; (ii) em caso de barragens promover a drenagem da fundação, com redução das subpressões que seriam prejudiciais à sua estabilidade; (iii) diminuir a poropressão nas obras de estabilização de taludes (ABGE, 1998).

### 3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE

Os órgãos reguladores estabelecem normas para a qualidade desejável dos agregados segundo a sua aplicação. No livro da ABGE (1998) são citados requisitos para cada tipo de uso, especialmente destacando os referentes à forma, como mostrado a seguir:

- **Concreto hidráulico:** os atributos de forma são importantes para a aplicação, aliada a uma adequada distribuição granulométrica, para se ter maior compacidade, diminuindo o índice de vazios aumentando a economia no uso do cimento. Partículas equidimensionais aumentam a resistência mecânica. A rugosidade ou textura da superfície deve ser adequada para melhor aderência agregado - pasta. Os grãos devem ter boa resistência mecânica, e para evitar empobrecimento do concreto é necessária a ausência de impurezas.
- **Concreto asfáltico:** os atributos de forma influenciam na qualidade do material, que exige uma (i) boa resistência ao polimento, para que resista ao

desgaste mecânico imposto pelos pneus dos veículos; (ii) alta tenacidade; (iii) alta resistência à compressão devido às cargas impostas pelos veículos que circulam na rodovia; (iv) ausência de minerais expansíveis ou alteráveis; (v) Rugosidade o suficiente para dar boa aderência do pavimento com o pneu, e adesividade, para impedir o deslocamento do filme de asfalto; (vi) Ser o mais equidimensional possível, para diminuir o consumo de asfalto e também, melhorar a resistência mecânica.

- **Lastros de ferrovia:** é necessário: (i) alta tenacidade, para aguentar o processo de compactação; (ii) Alta resistência ao desgaste, devido ao atrito imposto pela passagem do trem; (iii) Alta resistência a compressão, dada a força aplicada pela passagem dos veículos na via; (iv) Apresentar minerais inalteráveis; (v) Formato das partículas que garantam um bom imbricamento do lastro e mantenha sua estabilidade geométrica.
  
- **Enrocamento:** (i) Forma e distribuição granulométrica que garantam bom imbricamento e boa estabilidade estrutural à obra; (ii) Resistência mecânica adequada, para suportar a construção e os impactos em alguns casos; (iii) inalterabilidade dos seus minerais, para suportar os ciclos de saturação e secagem, evitando desagregação.
  
- **Filtros:** (i) permeabilidade maior que a do solo protegido, para que a água seja drenada com maior facilidade; (ii) boa distribuição granulométrica para evitar o efeito de carreamento de partículas do local protegido pela água que está sendo drenada que causaria erosão interna; (iii) constituído de material não-degradável e de difícil solubilização.

### 3.3 INFLUÊNCIA DE FORMATOS, ANGULARIDADE E RUGOSIDADE NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

#### 3.3.1 Formato

A forma dos grãos é definida pela proporção entre suas três dimensões, e admite-se que o melhor agregado é o que tem forma cúbica, ou seja, as três dimensões são aproximadamente iguais. Algumas vezes diz-se também a “Lamelaridade” dos grãos.

A lamelaridade é um parâmetro de forma que procura determinar se as partículas são alongadas (lamelares) ou não. Admitindo o agregado como uma partícula tridimensional, como ilustra a Figura 2, um valor de diâmetro em cada eixo (três diâmetros) tem-se: (i) comprimento ( $l$ ), definido como o maior valor dos três diâmetros; (ii) largura ( $w$ ), como o maior valor de diâmetro perpendicular ao comprimento e (iii) espessura ( $t$ ), o diâmetro restante. A lamelaridade é a maior dentre as razões  $l$  por  $w$  ou  $w$  por  $t$  (Evangelista et al, 2005).

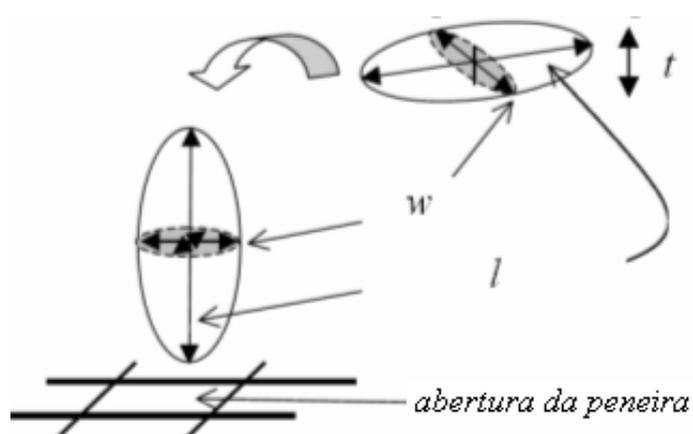


Figura 2: Definição dos diâmetros dos agregados graúdos (comprimento, largura e espessura) (Evangelista et al, 2005)

Admite-se em geral um pequeno percentual de grãos fora desta condição no volume total a ser empregado. Complementa a análise da forma dimensional, a forma sob o ponto de vista de angularidade das faces (angular, sub – angular ou arredondado) e sob o ponto de vista da textura (lisa ou rugosa) de cada face. Agregados britados em geral são angulosos e rugosos.

É de extrema importância para quase todos os principais usos de agregado que tenham um percentual baixo de agregados alongados e lamelares (figura 3), pois quanto mais alongados e delgados, menor é a sua resistência mecânica e maior a possibilidade de formação de finos que desequilibrariam a granulometria da aplicação em questão.

A definição do que é um agregado cúbico ou alongado varia com a área de emprego do material. A dimensão cúbica não necessariamente implica em ter as três medidas iguais, em geral relações de 3:1 ou 4:1 entre a maior e a menor dimensão do grão são consideradas ainda partículas cúbicas, excepcionalmente até 5:1 em algumas normas.

No caso de concretos hidráulicos existe influência particularmente nas propriedades do concreto fresco: a alta taxa de agregados com formato inadequado tende a diminuir a resistência da mistura, aumentando o índice de vazios e gastando mais cimento para obter a resistência desejada (Ribeiro 2006).

Em misturas asfálticas os agregados lamelares podem sofrer quebras durante o processo de compactação, alterando a granulometria, expondo faces sem recobrimento de ligante e fazendo com que as propriedades iniciais mudem (Bessa, 2009). Também podem aumentar o índice ou volume de vazios causando maior gasto com ligante (Nascimento 2008).

No caso do lastro de ferrovia o formato influencia diretamente no arranjo geométrico e na resistência a compressão exigida, sendo que agregados não equigranulares podem comprometer o arranjo para alcançar a geometria ideal, o que também pode ser um problema em casos de obras de contenção.

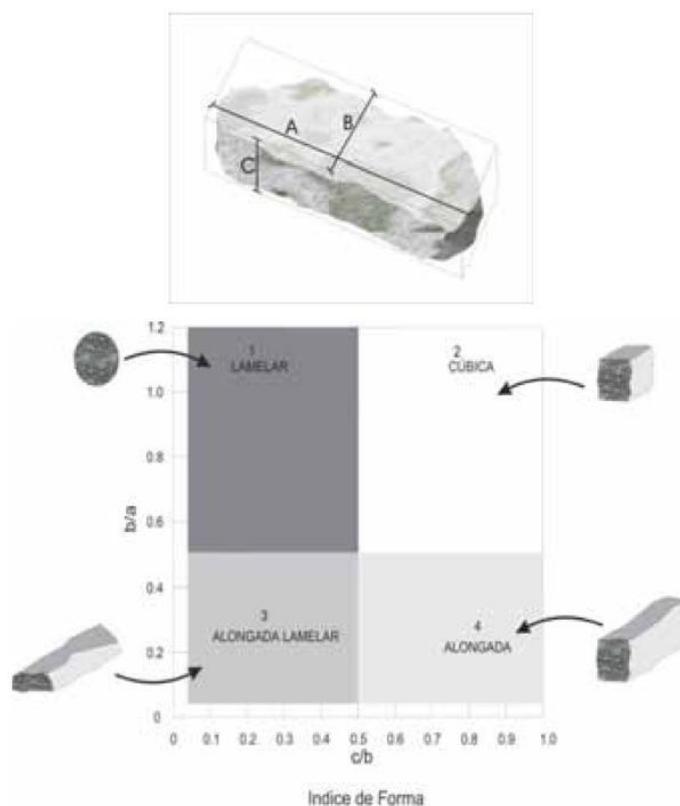


Figura 3 - Formato dos agregados (Ribeiro, 2006)

### 3.3.2 Angularidade

A angularidade de agregados graúdos é uma das maneiras de se avaliar a forma associada à textura superficial, para garantir alto grau de atrito interno entre agregados e boa resistência à deformação permanente na mistura asfáltica. Esta avaliação está vinculada à observação visual de presença de faces fraturadas nos grãos. Uma face fraturada é definida como sendo qualquer superfície fraturada que ocupe mais do que 25% da área visível nesta face do agregado. Pelo método Superpave de misturas asfálticas a angularidade do agregado graúdo é expressa como a porcentagem em peso de agregados maiores do que 4,75mm com uma ou mais faces fraturadas (Bernucci et al, 2010).

A angularidade dos grãos graúdos tem vários aspectos positivos nas misturas asfálticas sendo, por exemplo, responsável direta pelo atrito pneu-pavimento, mas pode ter um aspecto menos desejável que está ligado à trabalhabilidade da camada,

sendo que agregados irregulares ou angulares promovem maior entrosamento e em consequência, maior resistência ao deslocamento entre as partículas quando ocorre a compactação (Bessa, 2012). No entanto o melhor entrosamento entre grãos angulosos é muito importante durante a vida útil das bases rodoviárias, revestimentos asfálticos e lastros, por promover maior atrito intergranular, portanto, maior resistência ao cisalhamento.

A angularidade de agregados miúdos tem impacto na resistência às tensões provocadas pelo tráfego segundo Foster (1970). Cross e Purcell (2001) também mostraram acréscimo na resistência à deformação permanente em misturas asfálticas, entre outros diversos estudos que mostram boa correlação entre a angulosidade de agregados miúdos com o crescimento da resistência a deformação permanente.

### **3.3.3 Rugosidade**

A rugosidade ou textura dos grãos, pode ser lisa ou rugosa (áspera), influencia diretamente no atrito de uma partícula com outra, sendo que quanto mais rugoso os agregados maior será o atrito entre eles e conseqüentemente a resistência do conjunto será aumentada. Al Rousan (2004) define a rugosidade como a irregularidade da superfície do agregado em uma escala tão pequena que não afete a forma geral do mesmo. ABGE (1998) caracteriza como sendo correspondente a ondulações nas superfícies, que influenciam especialmente a resistência ao cisalhamento, conferindo um incremento ao ângulo de atrito.

Quando a aplicação é para concreto asfáltico pode-se fazer algumas colocações sobre a textura dos agregados. Bessa (2012) lembrou que quanto maior a rugosidade mais difícil será a sua compactação, devido ao acréscimo no atrito dado pela textura superficial, podendo aumentar o volume de vazios da mistura devido à má compactação. Em contrapartida agregados mais lisos conseguem melhor compactação reduzindo o volume de vazios. Porém Souza *et al* (2001) constataram que em camadas de pavimento mais espessas e para climas mais quentes, é essencial o uso de agregado mais rugoso, já que eles tendem a aumentar a rigidez da mistura, prolongando sua vida de fadiga, e em pavimentos

mais esbeltos pode-se usar parcela de agregados lisos, que tornam a mistura menos rígida.

Outra função importante da rugosidade, mais aplicada ao agregado graúdo, é o melhoramento do atrito da pista com os pneus dos veículos, criando uma microtextura que interrompe a continuidade da lâmina d'água e produz uma resistência entre o pneu e o pavimento (Rezaei, 2010). A superfície do pavimento, e os agregados ali aplicados, são alvos de constante desgaste causado pelo atrito do tráfego dos veículos (Bessa, 2012), sendo necessário garantir que os grãos tenham resistência a esta ação e preservem sua angulosidade e textura ao longo da vida útil do pavimento. Para isto, são realizados ensaios que medem a resistência ao polimento e desgaste desses agregados.

Em concreto hidráulico, uma alta rugosidade aumenta a resistência mecânica da mistura, porém aumenta o volume de vazios e com isso se gasta mais cimento, por isso é necessário uma textura média, que equilibre o ganho de resistência com a diminuição do volume de vazios. Para o uso em lastros de ferrovia, a demanda de uma alta resistência ao atrito e compressão exige que o agregado tenha alta rugosidade, para melhorar essas características mecânicas. Esse ganho de resistência mecânica devido à alta rugosidade é válido também para partículas aplicadas como estruturas de gravidade em contenções de encostas.

### **3.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À DEGRADAÇÃO**

Na literatura são encontrados muitos métodos de caracterização da resistência à degradação de agregados, sendo o mais difundido quando se fala em aplicação em pavimentos é o ensaio de abrasão Los Angeles. Este ensaio representa o desgaste sofrido pelo agregado quando colocado no aparelho Los Angeles, sendo submetidos a 500 rotações com velocidade de 30 a 33rpm e no fim pesa-se o material retido na peneira de 2,4mm. (ver mais detalhes no capítulo 4.4).

Porém, algumas pesquisas, como DNIT (1998) e Rogers (1998), mostram que

o ensaio Los Angeles é muito severo, fazendo com que muitas pedreiras sejam rejeitadas. Rogers (1998) ressalta que a avaliação realizada pelo ensaio de abrasão Los Angeles quantifica mais a resistência dos agregados em relação à quebra do que à abrasão propriamente. Isso se deve ao fato de que o ensaio resulta em porcentagem de massa perdida da amostra de agregado, desconsiderando a forma dos mesmos após as rotações do tambor e o contato com as esferas de aço. Sendo assim, um baixo valor do parâmetro Los Angeles, ou seja, pouca perda de massa durante o ensaio, não necessariamente indica agregados resistentes à abrasão, por exemplo.

Assim, foram indicados ensaios alternativos (DNIT, 1998) para melhor caracterização da qualidade de um agregado quanto à perda de angularidade e textura, propondo combinar o resultado do Los Angeles em conjunto a de ensaios como resistência ao esmagamento, impacto Treton, degradação Marshall e outros, para propiciar melhor caracterização da resistência da rocha ao desgaste superficial.

Cada ensaio citado faz um esforço diferenciado na amostra testada, e tem seus próprios parâmetros e propósitos de análise: no ensaio Los Angeles mede-se a resistência ao impacto e abrasão sofridos pelo agregado testado, no Treton é mensurada a sua tenacidade, no esmagamento a resistência a compressão dos agregados confinados. Assim, fazer o conjunto de ensaios proposto pelo DNIT (1998), seria mais efetivo e mais completa a caracterização dos agregados graúdos.

Fora do Brasil o ensaio Los Angeles também é questionado para se avaliar a resistência a abrasão da rocha (DNIT, 1998), sendo utilizados outros métodos de ensaios, para melhor caracterização das rochas estudadas. Um equipamento muito usado para abrasão é o *Micro-Deval* (AASHTO TP 58-00), que é um ensaio francês dos anos 1960, que usa água além das esferas para se medir o desgaste a abrasão (COOLEY E JAMES, 2003). ROGERS (1998) defende que o *Micro-Deval* tem melhor comportamento do que o Los Angeles, devido a presença de água no ensaio, pois simula melhor as condições reais. Bessa (2012), cita outros dois ensaios de abrasão usados na Europa, *Aggregate Abrasion Test* e *Nordic Ball Mill Teste*. O primeiro utiliza um prato de aço que gira sob os agregados, o segundo é uma adaptação do *Micro-Deval* com poucas modificações.

É muito comum a aplicação do impacto Treton, Los Angeles e resistência ao esmagamento em lastro de ferrovia, não sendo usualmente usado pelos tecnólogos de concreto de cimento portland (Ribeiro, 2006).

### **3.5 AVALIAÇÃO DIGITAL DE PROPRIEDADES DE AGREGADOS**

Quando se fala de forma dos agregados, existe uma série de ensaios tradicionais tais como os utilizados pelo DNIT, especialmente o de índice de forma (DNER-ES 391/99). No entanto, como discutido, não basta somente avaliar as relações de tamanho, sendo importante também analisar junto a angularidade e a textura. Não se tem no Brasil, norma de ensaio para estas características. Pode-se então citar os sugeridos pelo Superpave (Superior Performace Asphalt Pavements): para agregados graúdos - angularidade (ASTM D 5821) e determinação de partículas alongadas/lamelares (ASTM D 4791). Para agregados miúdos - angularidade (AASHTO TP 33), percentual de argila (ASTM D 2419) que são descritos, por exemplo, em Bernucci et al, (2010).

Todavia Masad (2005) mostrou que os ensaios propostos por este método de dosagem SUPERPAVE são limitados para quantificar diretamente e objetivamente os atributos destes materiais. A metodologia proposta pelo Superpave é constituída de ensaios laboratoriais que fornecem as diversas características de forma dos agregados de maneira separada em cada aspecto (lamelalidade, angulosidade, textura).

Dentre as desvantagens destes métodos Superpave citam-se: (i) falta de conexão entre as propriedades de agregados graúdos e miúdos, (ii) resultados influenciados por mais de uma propriedade de forma do agregado (por exemplo, a determinação da angularidade de agregado miúdo na metodologia Superpave é influenciada pela forma, textura e granulometria do agregado), (iii) alguns testes além de qualitativos são dispendiosos (determinação de partículas lamelares e alongadas para agregados graúdos), (iv) medidas indiretas de propriedades de forma (Masad, 2004; Al-Rousan et al., 2005; Castelo Branco et al, 2006; Souza, 2009).

Visando minimizar estes problemas, Illerstrom (1998) desenvolveu o primeiro scanner 3-D para processar imagens de agregados e através disso caracterizar a sua rugosidade e forma. Lanaro et al. (1998) criaram uma técnica para medir rugosidade de fraturas de rochas, que poderia ser aplicada a partículas de agregado. Lanaro e Tolppanea (2002) aprimoraram a técnica de scannig 3-D com o objetivo principal de quantificar a rugosidade da superfície. Ambas as técnicas usavam lasers para fazer o scanner das amostras.

Fernlound criou em 2004 um equipamento de análise em 3-D a partir de imagens, que possibilita determinar a distribuição e formato dos agregados. Submeteu os agregados britados a esse método de análise antes e depois do Los Angeles, conseguindo mensurar o desgaste sofrido, chegando à conclusão que partículas mais cúbicas sofrem menos desgaste e que partículas alongadas tendem a ficar mais cúbicas devido a maior desgaste no seu eixo mais alongado (Fernlound, 2005).

Outros métodos de processamento dimensional de imagens foram desenvolvidos ao longo do tempo usando meios diferentes como o trabalho de Erdogan et al (2006) que usou topografia de raios - x para obter uma imagem 3-D da partícula e medir a sua esfericidade, aplicada a quatro rochas comparando os resultados experimentais anteriores com os obtidos pelas imagens do raios - x.

Todos os métodos de imagem citados até o momento para medir forma só servem para agregados graúdos, maiores que 4,8mm. Persson (1998) desenvolveu uma técnica para se analisar o tamanho e forma de agregados miúdos e fez uma comparação entre partículas finas naturais e britadas de 26 diferentes tipos de rochas. As partículas mais finas foram analisadas através de microscópios polarizados com luz ultra violeta. Ele observou que existia enorme diferença entre partículas naturais e britadas: as que passaram pelo processo de britagem tinham formato mais alongado e lamelar que as naturais, tendo menor resistência à abrasão.

Em 2004 foi introduzido o método denominado Aggregate Image Measurement System (AIMS) (figura 4), mais moderno, preciso e barato de processamento digital de imagem, desenvolvido por Eyad Massad. Esse equipamento consegue observar grande quantidade de partículas no mesmo processo, fazendo análises tanto em materiais graúdos e miúdos. Dentre as principais vantagens desse sistema tem-se: (i) sistema completamente automatizado e de fácil operação, (ii) capaz de realizar análises 2-D (agregados miúdos) e 3-D (só para os graúdos), (iii) capaz de separar características de forma angularidade e textura (somente para agregados graúdos), (iv) análises baseadas em métodos científicos reconhecidos, (v) utilização de distribuição cumulativa de propriedades ao invés de índices baseados em médias aritméticas (vi) possibilidade de análise dos agregados com relação à sua resistência ao polimento e à abrasão (vii) monitoramento e controle de qualidade dos processos de produção, refletindo inclusive na britagem; (viii) possibilidade de avaliação da textura superficial e relação com resistência a derrapagem e (ix) melhor entendimento entre as propriedades de forma de agregados, dosagem e propriedades volumétricas do concreto asfáltico (Al-Rousan, 2004; Masad, 2004; Al-Rousan et al., 2005; Castelo Branco et al., 2006). Foram também discutidos por estes autores citados os critérios de classificação dos agregados que serão apresentados no capítulo de métodos tendo em vista que um equipamento deste tipo foi utilizado na presente pesquisa.



Figura 4 - *Aggregate Image Measurement System* (AIMS) (Laboratório de Geotecnia da COPPE)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização deste estudo, foram escolhidos dois litotipos que são mais usados como agregado graúdo na região metropolitana do Rio de Janeiro, e um terceiro que tivesse características de resistência muito acima da média. Para esta seleção foi usada a tese de doutorado de Ribeiro (2006) que descreve a caracterização de todas as pedreiras da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, em operação à época.

Foram escolhidas três litologias alvos: granito, gnaiss e sienito, sendo selecionadas as pedreiras para as quais estavam disponíveis na literatura resultados de ensaios de abrasão Los Angeles, impacto treton e de esmagamento, para fins de comparação com os resultados obtidos nesta pesquisa. Com este critério chegou-se na seleção das pedreiras: Lafarge, representando o granito; Cispel, com o biotita-gnaiss; Vigné, tendo como rochas base sienito e traquito.

### **4.1 GEOLOGIA LOCAL DAS PEDREIRAS E MÉTODOS DE BENEFICIAMENTO**

As pedreiras selecionadas estão localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro e suas localizações estão indicadas na Figura 5.

Em todas as pedreiras foram coletados cerca de 40kg de amostra de brita de graduação do tipo 1, posteriormente peneiradas, usando um agitador mecânico (figura 6). Cada uma das amostras foi separada para ensaios posteriores nas frações de tamanho nominal de abertura da peneira: 16mm, 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm.

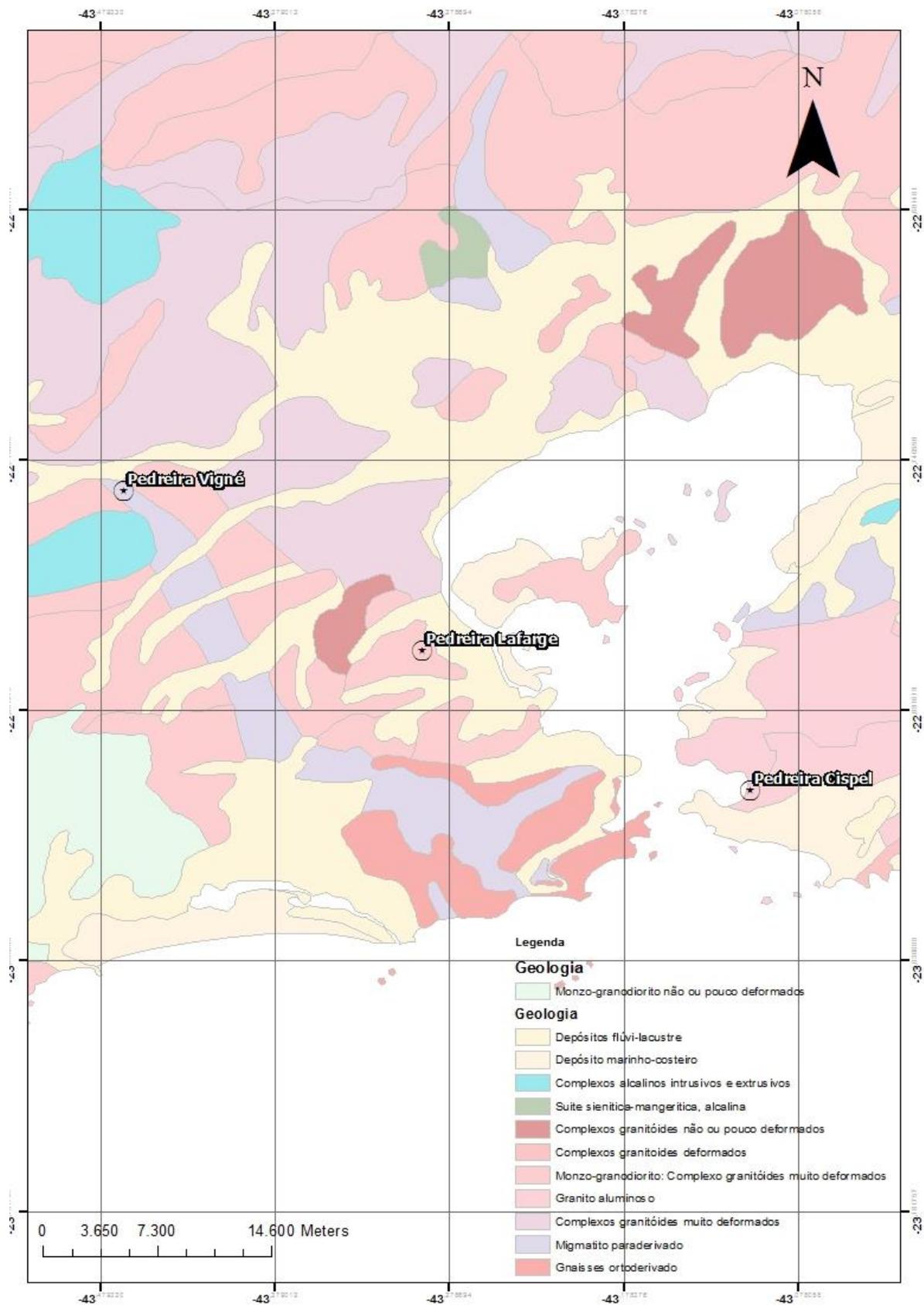


Figura 5 - Mapa geológico do Rio de Janeiro com as localizações das pedreiras estudadas (CPRM/DRM-RJ/GEOBANK, 2001)



Figura 6 – Série de peneiras e agitador mecânico utilizado nesta pesquisa (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ)

Nas pedreiras Cispel e Vigné, que apresentam variações de tipos litológicos e de estados de alteração (figura 7 e 8), foram feitas análises que indicam a proporção em massa de cada tipo de material existente nas amostras coletadas nas pedreiras. Por inspeção visual os agregados foram separados por tipo litológico e por estado de alteração em cada amostra coletada. Após sua classificação, foram separados e suas respectivas massas obtidas em balança eletrônica, do fabricante Marte, com capacidade nominal de 2000 g e precisão de 0,01 g.



Figura 7 - Exemplo da heterogeneidade dos agregados da pedra Cispel na amostra coletada para este trabalho



(a)

(b)

Figura 8 - Heterogeneidade dos agregados da pedra Vigné na amostra deste estudo: (a) depois de lavar e (b) antes do processo de lavagem e secagem

Destas duas amostras, pedreiras Cispel e Vigné, foram separados 1kg de brita de cada peneira (12mm, 9mm, 4,8mm) e foi feita a contagem dos vários tipos litológicos presentes, e a proporção de cada um em relação à massa total por peneira, foi expressa segundo a equação (1):

$$P(\%) = \frac{M_i}{M_a} 100 \quad (1)$$

Onde:

P = proporção

M<sub>i</sub> = massa de determinado tipo litológico.

M<sub>a</sub> = massa total analisada.

Por fim fez-se uma média das proporções de cada tipo encontrado nas três peneiras obtendo assim o valor de proporção dos fragmentos presentes em uma porção de 1kg do agregado fornecido pela pedreira em questão.

#### **4.1.1 Pedreira Cispel**

A primeira pedreira visitada, com coleta de amostra de agregados, foi a pedreira CISPEL, que está localizada na Av. Carlos Ermelindo Marins, 71, Jurujuba - Niterói - RJ (Figura 9).



Figure 9 - Localização da pedreira Cispel (Imagem Google Earth, acessada em 27 de setembro de 2013)

O seu contexto regional são rochas tardi-colisionais do neoproterozóico do evento brasileiro II, relativo à fase final de colisão para formação do Gondwana. Essas rochas estão inseridas na Suite Rio de Janeiro, sendo relacionada, segundo o CPRM/DRM (2001), ao granito Pão de açúcar. Foi feita uma visita a pedreira e feito levantamento da frente de lavra onde localmente vê-se uma rocha composta de feldspato (pórfiros) (figura 11.2), quartzo, biotita, anfibólio e granada. Seus feldspatos muitas vezes apresentam indícios de hidrotermalismo dada sua coloração mais esverdeada (clorotização) (figura 11.1). Também é visto um dique (N45) de uma rocha félsica de granulometria muito grossa contendo turmalinas, quartzo e predominantemente feldspato (pegmatito) (figura 11.3). Também nota-se a presença de clastos da parte mais máfica de um gnaiss mais antigo no meio da rocha mais nova. Foram observadas duas famílias de fraturas tectônicas (300/85 e 100/85) (figura 10) e juntas de alívio.



Figura 10 - Vista da frente da pedreira Cispel e algumas fraturas tectônicas marcadas



Figura 11 - Pedreira Cispel: (1) Rocha com os plagioclásios esverdeados (cloritização); (2) Gnaiss com porfiro de feldspatos; (3) Dique de pegmatito

O processo de britagem da pedra se dá inicialmente com um britador de mandíbulas primário (figura 12) que cuida de fragmentar blocos de rochas, que, depois da fragmentação, seguem em uma esteira para um britador secundário cônico, que gera as britas de maior graduação (3 e 4). O que passou na peneira de menor graduação desta série segue para um terceiro processo de britagem, em um britador também cônico, (figura 13) gerando as britas de menores graduações (pó de brita, 0, 1, 2).



Figura 12 - Britador de mandíbula primário da Pedreira Cispel



Figura 13 - Britadores cônicos secundário e terciário da Pedreira Cispel

### 4.1.2 Pedreira Vigné

A segunda pedreira a ser visitada foi a Vigné, localizada na Av. Abílio Augusto Távora, 1061 Nova Iguaçu - Rio de Janeiro/RJ (figura 14)

As rochas encontradas nessa pedreira são classificadas pelo CPRM/DRM (2001) como rochas alcalinas do cretáceo, dentro de um contexto da passagem de um *hot spot* de composição alcalina tendo intrusões desse tipo desde os limites do Rio de Janeiro com o estado de Minas Gerais, em Itatiaia, onde se tem essas rochas alcalinas mais antigas, até o litoral do Rio de Janeiro na região dos lagos, Cabo Frio, onde tem rochas de idade mais nova.



Figura 14 - Localização da pedreira Vigné (Imagem Google Earth, acessada em 11 de outubro de 2013)

Localmente vê-se traquitos e sienitos (figura 15). Estão presentes duas famílias de fraturas tectônicas principais (330/45 e 110/35) (figura 16), eventualmente preenchidas por aplitos félsicos, além de juntas de alívio 360/50, segundo Valente *et al* (2005) que dividiu a pedreira em zonas litológicas, sendo a predominância das direções das fraturas 145/30 e 10/85. Foram observados também diques máficos cortando a pedreira em diversos pontos com atitudes acompanhando as duas famílias de fraturas principais e outro dique maior na direção N35. Percebe-se também uma mudança lateral de textura e alteração, com os traquitos ocupando as bordas do corpo alcalino e o sienito sua porção mais central.

Na Figura 17 mostram-se testemunhos dos tipos encontrados, obtidos durante a visita deste estudo. Os sienitos (figura 17.1 e 17.2) têm textura de média a fina, sendo possível identificar piroxênios, pirritas, zircões, allanita e nefelinas.

Os traquitos (figura 17.3) têm cor cinza e textura com matriz afanítica e aspecto maciço, localmente apresentando feldspatos maiores que a matriz.



Figura 15 - Frente da pedreira Vigné durante a visita deste estudo



Figura 16 - Frente da pedreira Vigné durante a visita deste estudo com duas famílias de fraturas tectônicas marcadas



Figura 17 - Pedreira Vigné: (1) e (2) Duas variações do sienito (3) traquito - amostras obtidas durante a visita deste estudo

O processo de beneficiamento da pedra Vigné (figura 18) é semelhante ao utilizado na pedra Cispel, tendo um britador primário (figura 19) de mandíbula, que atua sobre os blocos de rochas vindos do desmonte, os fragmentos gerados são levados por esteira até um conjunto de britadores cônicos (figura 20), sendo ele composto por dois secundários (figura 20.1 e 20.2) e um terciário (figura 20.3), sendo um secundário responsável pelas britas de maior graduação (4 e 3) e outro pelas graduações 2 e 1, o terciário produz britas do tipo 0 e pó de brita.



Figura 18 –Britadores da pedra Vigné durante a visita deste estudo



Figura 19- Britador primário de mandíbula da pedra Vigné durante a visita deste estudo



Figura 20 - Britadores cônicos. (1) e (2) Britadores secundário, (3) britador terciário da pedra Vigné durante a visita deste estudo

### 4.1.3 Pedreira Lafarge

A terceira pedreira (figura 21) visitada foi a Lafarge, tendo como via de acesso a praça Professor São Paulo, 30 / Inhaúma - Rio de Janeiro - RJ



Figura 21 - Localização da pedreira Lafarge (Imagem Google Earth, acessada em 29 de outubro de 2013)

Segundo CPRM/DRM (2001), essas rochas da Serra da Misericórdia são ligadas ao magmatismo pós-tectônico na fase final do brasiliano. Essas rochas têm idade cambriana e são granitoides do tipo I que têm, em geral, hornblenda – biotita

na composição mineralógica, possuem granulação de fina a média e textura equigranular, podendo ser porfirítica. A ocorrência dessa rocha está disseminada pelo estado do Rio de Janeiro em diversos tipos de corpos vulcânicos.

Foram medidas duas famílias de fraturas tectônicas: 125/85 e 30/80 (figura 22) durante a visita desta pesquisa.

Pires *et al* (1982) fizeram o primeiro agrupamento cronológico e composicional, em três séries que correspondem as diferentes fases de geração de rocha, onde foram individualizados os granitos rosa e favela, que são granitos jovens e antigos respectivamente, sendo o favela presente na pedreira estudada. O granito favela (figura 23) é caracterizado por Pires *et al* (1982) como granitoide leucocrático de composição granítica (*sensu strictu*) a adamelítica. Neste trabalho essa rocha foi classificada como granito de granulação grossa composto de quartzo, feldspato, biotita, turmalina, piratas e alanitas, apresentando textura equigranular. No local foram encontrados xenólitos de uma rocha encaixante mais antiga que, segundo Pires *et al* (1982), trata-se do Tonalito Grajaú e enclaves escuros.



Figura 22 - Fraturas encontradas na pedreira Lafarge durante a visita deste estudo



Figure 23 - Granito favela na pedreira Lafarge durante a visita deste estudo

Não houve informação nem acesso ao local de beneficiamento da pedreira Lafarge, sabe-se que produz desde pó de brita a brita de graduação 4.

#### **4.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA**

Todas as lâminas foram analisadas no microscópio do LEMETRO e as fotos das lâminas foram feitas no laboratório de Mineralogia do Departamento de Geologia da UFRJ.

Foram confeccionadas seis lâminas sendo duas dos gnaisses da pedreira Cispel, três dos sienitos e traquitos da pedreira Vigné e uma do granito da pedreira Lafarge. O procedimento para a confecção de uma lâmina delgada é feita com um fragmento de rocha, este sendo cortado com uma serra diamantada (figura 24), em seguida a amostra já cortada é levada a um aparelho (figura 25) para ser cortada com mais precisão e desgastada até uma determinada espessura. Em seguida a amostra é colocada em uma lâmina de vidro com dimensões aproximadas de 5,0cm X 2,5 cm e espessura de 0,1 cm e levada à estufa para endurecimento. A próxima etapa é desgastar o fragmento de rocha em esmeril usando-se abrasivos sucessivamente mais finos até que encontre a espessura padrão de 3,0 micras



Figura 24 – Serra diamantada usada para cortar fragmentos de rochas na confecção de lâminas delgadas (figura retirada da internet)

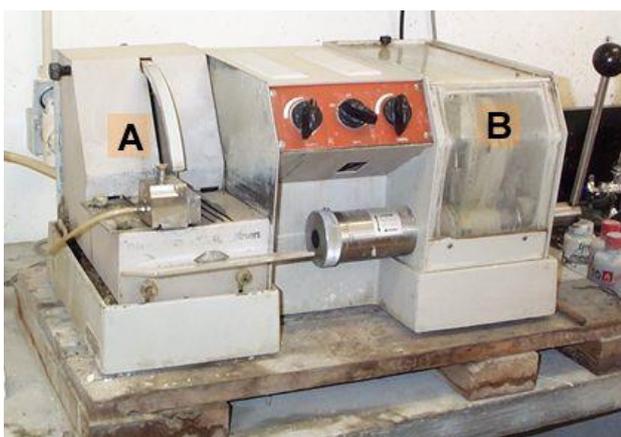


Figura 25 - A- Serra para corte das esquirolas; B - Disco para desgaste da amostra. (figura retirada da internet)

### 4.3 LOS ANGELES

O ensaio DNER-ME 035/98 – “Agregados - determinação da abrasão Los Angeles”, representa o desgaste sofrido pelos agregados quando colocados no aparelho “Los Angeles” (figura 26) e submetidos a 500 rotações com velocidade de 30 a 33rpm na presença de esferas de aço. Para se realizar este ensaio, foi escolhida a graduação B, e a amostra consistiu de 2,5kg passando na #19mm e retida na #12,5mm e 2,5kg passando na #12,5mm e retida na #9,5mm. Usa-se a equação 2 para representar a abrasão sofrida pelo material.



Figura 26 - Tambor do aparelho Los Angeles utilizado neste estudo (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ)

$$A_n = \frac{(m_n - m'_n) * 100\%}{m_n} \quad (2)$$

Onde:

$A_n$  = abrasão Los Angeles da graduação n, com aproximação de 1%

$m_n$  = massa total da amostra seca colocada na máquina

$m'_n$  = massa da amostra lavada e seca, após o ensaio

(retida na peneira de 1,7mm)

#### 4.4 TRETON

O método DNER-ME 399/99 – “Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton” (figura 27) é um ensaio simples, onde se separam partículas que passam na peneira #19mm e ficam retida na peneira #16mm, com quantidade de fragmentos igual a 50 vezes a sua massa específica aparente. Os agregados escolhidos têm que ter forma cúbica, devem ser bem

angulares e com aproximadamente o mesmo tamanho.

Os fragmentos são colocados no interior de um cilindro de aço deixa-se cair o martelo padronizado, de uma altura de 39,37 cm, por dez vezes sobre o material. Utiliza-se uma peneira de 1,7mm e pesa-se o material retido nesta peneira após o esforço do choque do martelo. Para se determinar a perda ao choque usa-se a equação 3. Nesse ensaio foram realizadas duas repetições e no final feita uma média aritmética entre os dois ensaios.

$$T(\%) = \left( \frac{M_r}{M_i} \right) * 100\% \quad (3)$$

Onde: T = Perda ao choque (Tretton), expresso em porcentagem

$M_r$  = Massa do material retido na peneira 1,7 mm, em g.

$M_i$  = Massa original da amostra, em g.



Figura 27 - Aparelho Treton utilizado neste estudo (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ)

#### 4.5 ESMAGAMENTO

Outro ensaio geotécnico contemplado na presente pesquisa é o DNER-ME 197/97 – “Agregados - determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos” (figura 28). Consiste no preenchimento de um cilindro com três camadas de grãos selecionados, de mesma espessura compostas por brita passando na peneira # 12,5 mm e retida na peneira # 9,5 mm. Cada camada é compactada por vinte e cinco golpes dados com uma haste de socamento. Em sequência, aplica-se uma força total de 400kN uniformemente à razão de 40kN por minuto. O ensaio é finalizado quando atinge a força de 400kN. Depois passa-se o material na peneira de 2,4mm e determina-se a massa retida. Determina-se a resistência ao esmagamento pela equação 4.

$$R(\%) = \frac{(M_i - M_f) * 100\%}{M_i} \quad (4)$$

Onde: R = resistência ao esmagamento do agregado, em %

$M_i$  = massa inicial da amostra seca antes do ensaio, em gramas.

$M_f$  = massa final do material retido na peneira 2,4mm, em gramas.



Figura 28 - Prensa e célula para o ensaio de esmagamento, utilizada nesta pesquisa (LEMETRO-Departamento de Geologia da UFRJ)

#### 4.6 AIMS

O *Aggregate Image Measurement System* (AIMS) é um método de processamento digital de imagem, que mede diretamente fatores de forma de agregado graúdo e miúdo. Na Figura 29 ilustram-se os passos deste ensaio. Para realizar o ensaio, separam-se as amostras por frações: as partículas retidas nas peneiras 4,75mm até 25mm são considerados agregados graúdos, as passantes pela peneira 4,75mm até a retida na 0,075mm são miúdos.

O aparelho utilizado nesta pesquisa pertence ao Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ,

No caso dos agregados graúdos, as partículas são colocadas em uma bandeja da granulometria especificada, lado a lado (figura 29 (b)), sendo que não podem se tocar, visto que se isso acontecer o aparelho não fará a leitura de nenhuma das duas partículas. Em seguida são feitos três ciclos:

- (i) No primeiro ciclo mede-se a forma 2D do agregado e a angularidade (figura 29 (c)),
- (ii) No segundo ciclo são medidas as alturas dos agregados, obtendo-se assim todas as dimensões dos agregados, inclusive a sua profundidade.
- (iii) Por fim é realizado mais um ciclo onde se obtêm a textura (figura 29 (d)) de cada agregado analisado.

No caso dos agregados miúdos é feito somente um ciclo onde se medem a forma 2D e angularidade. Neste caso, o processo para distribuir os grãos na bandeja é um pouco mais complicado que dos graúdos: espalhar os grãos nas aberturas da bandeja, tentando evitar que as partículas se toquem para que seja realizado o maior número de medidas possível. Para as partículas retidas nas peneiras de 2,36mm e 1,19mm é usada a bandeja que tem o espaçamento para agregados de 25mm, para os passantes na de 1,19mm e retida na de 0,60mm é normalmente usada a bandeja com abertura para agregados 12,5mm, já para os passantes na 0,60mm até os retidos na peneira #200 é usada a bandeja de 9,5mm – Tabela 2.

Ao serem finalizados os ciclos, são geradas tabelas no *software Microsoft Excel* (figura 29 (e) e (f)), com todos os dados medidos e seus gráficos correspondentes, lembrando que todo o ensaio tem que ser realizado com as portas do equipamento fechadas para que não ocorra interferência externa de luz nas medidas.

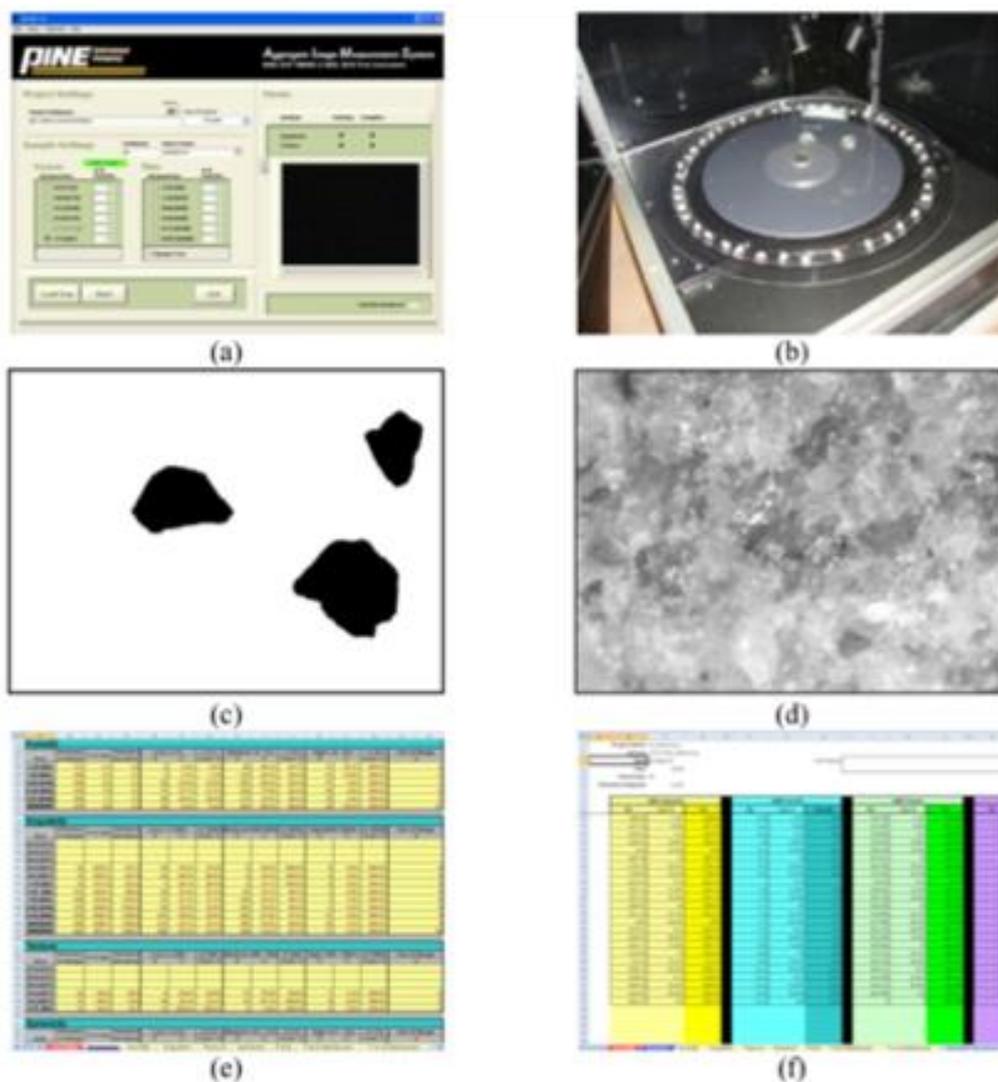


Figura 29: a) tela inicial do software. b) bandeja com os agregados graúdos colocados .c) Ciclo inicial tomando a forma 2D e angularidade das partículas. d) Ciclo final onde é medido a textura superficial. e) planilha com o resumo dos resultados e f) resultado de cada partícula. (Bessa, 2009)

Neste trabalho para a caracterização inicial foi feito uma amostragem total de cada uma das britas coletadas nas pedreiras deste estudo, no AIMS, antes de serem realizados os ensaios de Impacto Treton, Abrasão Los Angeles e Resistência ao Esmagamento. Depois desses ensaios mecânicos todos os agregados, de cada um dos métodos de desgaste individualmente, foram reanalisados, sendo seus materiais

separados por peneiras (tabela 2), para poder constatar o real desgaste que esses ensaios causaram nos agregados inicialmente analisados pelo AIMS.

Tabela 2: Peneiras x abertura em mm correspondente as bandejas utilizadas no AIMS

Peneira (ASTM)	Abertura (mm)
1"	25,00
3/4"	19,00
1/2"	12,50
3/8"	9,50
#4	4,75
#8	2,36
#16	1,18
#30	0,60
#50	0,30
#100	0,15
#200	0,075

#### 4.6.1 Parâmetros do AIMS

O aparelho tem a capacidade de fazer cinco medidas de forma do agregado. No primeiro ciclo de leitura ele faz a análise da forma 2D, que quantifica a forma relativa de imagens bidirecionais das partículas de agregado, expressa pela equação (5). Neste caso a variação possível é de 0 até 20, quanto mais perto do 0 mais próximo de um círculo perfeito será a partícula analisada.

$$\text{Forma 2D} = \sum_{\theta=0}^{\theta=360-\Delta\theta} \left[ \frac{R_{\theta+\Delta\theta} - R_{\theta}}{R_{\theta}} \right] \quad (5)$$

Onde,  $\theta$  é o ângulo direcional,  $\Delta\theta$  é a diferença de incremento do ângulo (assumido como 4°) e R é o raio em diferentes direções.

No mesmo ciclo ainda mede-se a esfericidade, parâmetro que só é dado para agregados graúdos, expressa pela equação (6) que tem sua variação de 0 até 1, sendo que quanto mais próximo do 1 mais cúbica é a partícula em questão.

$$Esfericidade = \sqrt[3]{\frac{d_S d_I}{d_L^2}} \quad (6)$$

Onde,  $d_S$  são as distâncias mais curtas,  $d_I$  são as distâncias intermediárias,  $d_L^2$  o quadrado da distância mais longa.

Ainda no ciclo citado fazem-se os cálculos da angularidade, que é feito pelos parâmetros de gradiente de angularidade, regido pela equação (7) e com resultado variando de 0 a 10.000, sendo que valores tendendo a zero representam um círculo perfeito.

$$Gradiente\ de\ angularidade = \frac{1}{\frac{n}{3}-1} \sum_{i=1}^{n=3} |\theta_i - \theta_{i+3}| \quad (7)$$

Onde,  $i$  é um ponto na borda da partícula,  $N$  é o número total de pontos na borda da partícula e  $\theta$  é o ângulo de orientação para os pontos de borda. O número três foi utilizado na Eq. 7 porque experimentalmente foi observado que a cada três pontos na borda há mudança na direção do vetor do gradiente.

Passando para o segundo ciclo de medidas, têm-se as razões de lamelaridade, que representam a relação de achatamento e alongamento de cada partícula. Considera-se que achatamento é a razão entre a menor dimensão (espessura) e a dimensão intermediária (largura) enquanto alongamento é a razão entre a dimensão intermediária e a maior dimensão (comprimento).

No último ciclo mede-se a textura superficial dos agregados, para isso usa-se a equação (8), com aplicação exclusiva nos agregados graúdos. Castelo Branco *et al* (2006) dizem que essa análise é feita pelo método das *wavelets*, que consiste na

avaliação da superfície da partícula pela média e o desvio padrão dos valores de *pixels* presentes na imagem a ser analisada. Os seus valores variam de 0 até 1.000, sendo quanto mais próximo de 1.000 maior sua rugosidade.

$$\text{Textura Superficial} = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N [D_{i,j}(x, y)]^2 \quad (8)$$

Onde,  $n$  é o nível em que a imagem foi decomposta,  $N$  é o número de coeficientes na imagem detalhada de textura,  $i$  representa as três direções de textura e  $j$  é o índice de coeficiente *Wavelet*

Com todos estes parâmetros, Al Rousan (2004) testou diversos agregados de mineralogias diversas, e desenvolveu uma classificação (tabela 3) de acordo com cada parâmetro dado pelo equipamento.

Tabela 3 – Classificação de forma e textura pelo AIMS (Al Rousan, 2004)

Propriedade	Valores-limite / Classificação				
	< 6,5	6,5 – 8,0	8,0 – 10,5	> 10,5	-
Forma 2D	Circular	Semicircular	Semialongado	Alongado	-
	< 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8	> 0,8	-
Esfericidade	Achatado/ Alongado	Baixa esfericidade	Esfericidade moderada	Alta esfericidade	-
	< 2100	2100 – 4000	4000 – 5400	> 5400	-
Angularidade	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular	-
	< 165	165 – 275	275 – 350	350 – 460	> 460
Textura Superficial	Polido	Macio	Baixa rugosidade	Rugosidade moderada	Alta rugosidade

Massad *et al* (2002) mostraram que existe uma ótima correlação entre angularidade de agregados miúdos e sua rugosidade, no caso das medidas realizadas pelo AIMS: quanto maior a angulosidade mais rugoso seria o agregado em questão. Isso acontece devido ao pequeno tamanho das partículas, quando se tenta aplicar o mesmo principio a partículas de maior tamanho (aquelas retidas nas

peneiras acima de 4,8mm), não se encontra uma boa relação entre esses parâmetros.

## 5. Resultados e Discussões

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dos três ensaios de desgaste ou abrasão realizados no Laboratório de Geologia de Engenharia da UFRJ (LAMETRO), (abrasão Los Angeles, impacto Treton, resistência ao esmagamento), o de proporção e a petrografia. O ensaio no AIMS foi feito no Laboratório de Geotecnia na COPPE/UFRJ. Analisaram-se, em conjunto, os resultados dos atributos de textura superficial, esfericidade e angularidade, obtidos pelo AIMS, dos agregados antes e depois de cada ensaio de abrasão, das amostras das três pedreiras visitadas no estudo. Faz-se uma discussão sobre a influência da origem das rochas nestes resultados.

### 5.1 Ensaio de Proporção

A proporção dos tipos encontrados para os agregados coletados na pedreira Cispel (figura 30) foi: pegmatito = 3,7%; gnaiss = 32,8%; gnaiss c/ alteração hidrotermal = 63,5%, mostrando que a maioria dos agregados coletados para os ensaios, apresentam sinal de hidrotermalismo.



Figura 30 - Separação dos tipos da amostra Cispel deste estudo sendo da esquerda para direita : Pegmatito, gnaiss com hidrotermalismo e gnaiss sem hidrotermalismo

A proporção encontrada para os tipos litológicos na amostra coletada na pedreira Vigné foi a seguinte: Traquito = 26,18%; Sienito = 68,56%; Basalto = 5,26% (figura 31). Uma importante observação feita no ato da separação das partículas da amostra deste estudo foi que os traquitos tinham uma tendência de serem mais lisos, alongados e lamelares e os sienitos são mais rugosos e equidimensionais.



Figura 31 - Separação dos tipos da amostra Vigné deste estudo: (1) sienito, (2) traquito, (3) basalto

## 5.2 ANALISE PETROGRÁFICA

Como explicado no capítulo anterior as análises petrográficas foram feitas em seis lâminas delgadas das três pedreiras estudadas, sendo duas da pedreira Cispel, três da Vigné e uma da pedreira Lafarge.

### 5.2.1 Lâmina Cispel 1

Rocha - biotita-gnaisse

Descrição: Rocha com alteração de sericita (muscovita) em cima dos quartzos e plagioclásios e K-feldspatos (figura 32.1), biotitas sofrendo alteração para cloritas, quartzos com extinção ondulantes (figura 32.2) e com contatos corroídos e interlombados, indicando um metamorfismo ocorrente. Pórfiros de Plagioclásio e K-feldspatos. Todos os minerais contêm micro-fraturas e muitas vezes estas são preenchidas por clorita, carbonato e sericita.

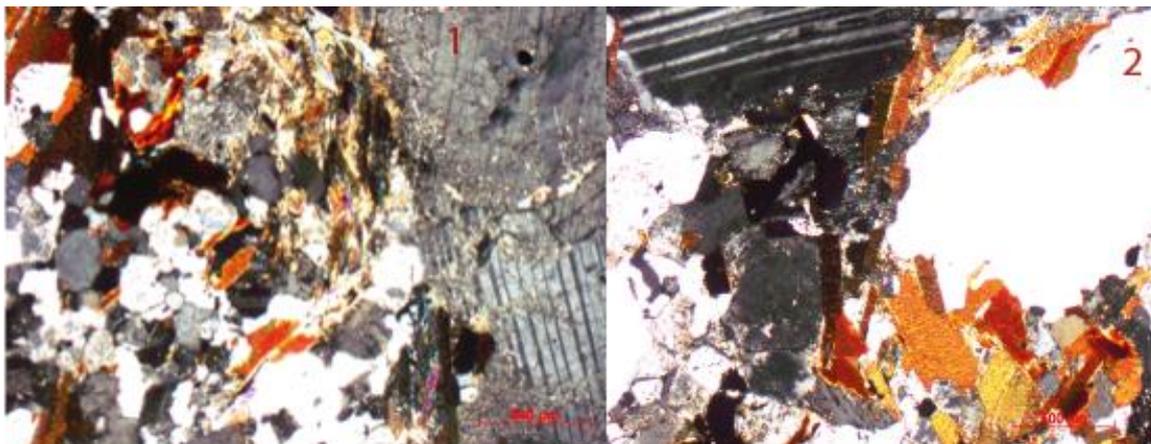


Figura 32 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o biotita gnaissse da pedra Cispel.

Na tabela 4 são apresentados os minerais encontrados na lâmina e suas porcentagens. A contagem dos minerais secundários em todas as lâminas não tiveram participação na contagem por serem derivados de outros minerais já presentes na rocha.

Tabela 4 – Minerais da lâmina Cispel 1 e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 4%	Secundário
Biotita	15%	Granada	Carbonato
Quartzo	30%	Zircão	Sericita
K-Feldspato	19%	Apatita	Clorita
Plagioclásio	32%	Minerais Opacos	

### 5.2.2 Lâmina Cispel 2

Rocha - biotita-gnaiss

Descrição: Rocha de granulação grossa e equigranular, a maioria dos contatos são retos, porém ocorrem contatos corroídos, algumas biotitas apresentam alteração para clorita e vêm-se calcitas e sericitas dentro dos feldspatos. No caso das sericitas, estão presentes em quase todos os feldspatos, e preenchendo microfaturas (figura 33), que são abundantes nessa lâmina. É comum ver também extinção ondulante tanto no quartzo quanto nos feldspatos indicando evidência de deformação. Também são vistos pontualmente textura micrográfica e intercrescimento mirmequitico.

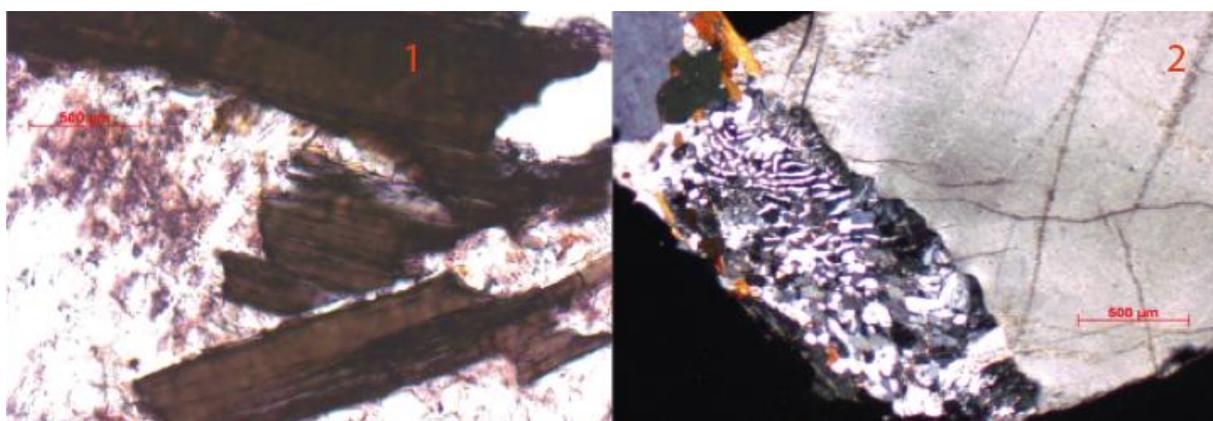


Figura 33 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o biotita gnaiss da pedreira Cispel. (2) Fraturas em um feldspato, crescimento mirmequitico e (1) sericita cobrindo um feldspato.

A tabela 5 mostra a porcentagem dos minerais presentes na lâmina Cispel 2.

Tabela 5 – Minerais da lâmina Cispel 2 e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 3%	Secundário
Biotita	10%	Granada	Carbonato
Quartzo	22%	Zircão	Sericita
K-Feldspato	32%	Apatita	Clorita
Plagioclásio	33%	Minerais Opacos	

### 5.2.3 Lâmina Vigné 1

Rocha: Traquito

Descrição: Rocha com matriz afanítica, textura porfírica, tendo pórfiros de K-feldspato e uns poucos de nefelina (figura 34). Lâmina com minerais muito alterados, devido ao hidrotermalismo, a matriz e os minerais pórfiros da rocha estão cobertos por carbonato. A lâmina apresenta bolhas de carbonato em diversos pontos, chegando a ter 500 micras. É comum encontrar sericita cobrindo alguns minerais da rocha. todos os minerais de alteração foram gerados no processo de hidrotermalismo.

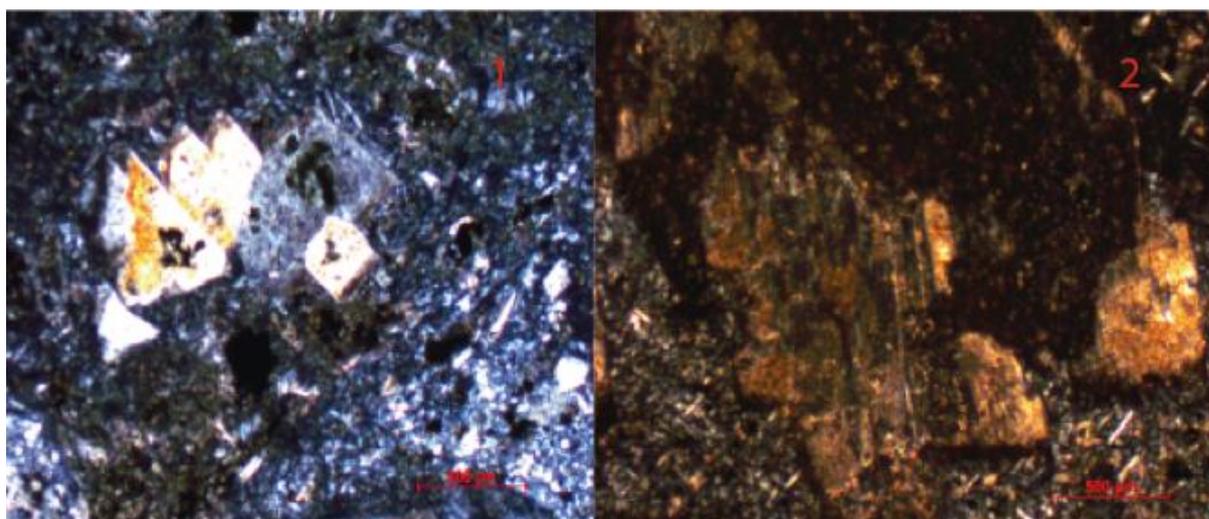


Figura 34 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o traquito da pedreira Vigné. (1) Cristais de nefelina no centro da foto, (2) sem nicóis cruzados, a aparência muito alterada devido ao carbonato que cobre todos os minerais da lâmina

Na tabela 6 são apresentados os minerais e suas respectivas porcentagens na lâmina Vigné 1.

Tabela 6 – Minerais da lâmina Vigné 1 e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 3%	Secundário
Sanidina (K-Feldspato)	80%	Clorita	Carbonato
Nefelina	10%	Alanita	Sericita
		Pirita	Minerais de argila
		Minerais Opacos	

### 5.2.4 Lâmina Vigné 2

Rocha: Traquito

Descrição: Rocha com matriz afanítica, textura porfirítica e traquitica, tendo pórfiros de K-feldspato e umas poucas nefelinas presentes (figura 35). Lâmina muito alterada devido ao hidrotermalismo, a matriz e os minerais pórfiros da rocha estão cobertos por carbonato. Clorita muito abundante sendo associada a minerais opacos. É comum encontrar sericita cobrindo alguns minerais da rocha. Todos os minerais de alteração foram gerados no processo de hidrotermalismo. As piritas foram identificadas pelo formato cúbico de alguns minerais opacos.

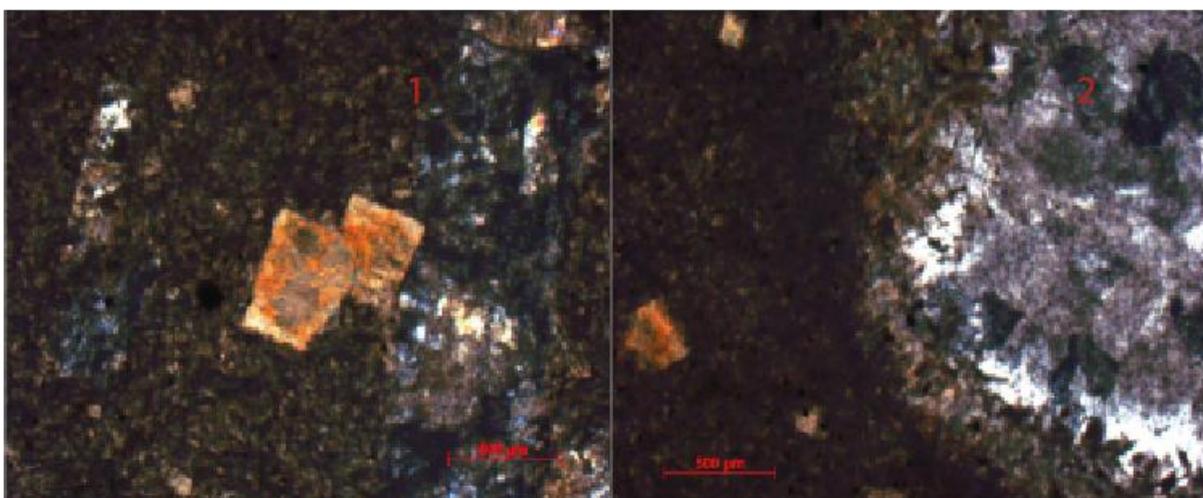


Figura 35 – Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o traquito da pedra Vigné. (1) Cristais de nefelina no centro da foto, a direita mostrando, (2) aparência muito alterada de um feldspato devido ao carbonato que cobre todos os minerais da lâmina

Na tabela 7 mostram-se as porcentagens dos minerais presentes na lâmina Vigné 2.

Tabela 7 – Minerais da lâmina Vigné 2 e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 1%	Secundário
Sanidina (K-Feldspato)	96%	Clorita	Carbonato
Nefelina	3%	Piroxênio	Sericita
		Pirita	Minerais de argila
		Minerais Opacos	

### 5.2.5 Lâmina Vigné 3

Rocha: Sienito

Descrição: Rocha com matriz fanerítica, textura equigranular (figura 36), tendo seus contatos retos. lâmina muito alterada, devido ao hidrotermalismo, toda rocha está coberta por carbonato. É comumente identificado carbonato nos contatos dos grãos. É visível sericita cobrindo alguns minerais da rocha. todos os minerais de alteração foram gerados no processo de hidrotermalismo. É provável a presença de outros argilo-minerais na rocha.

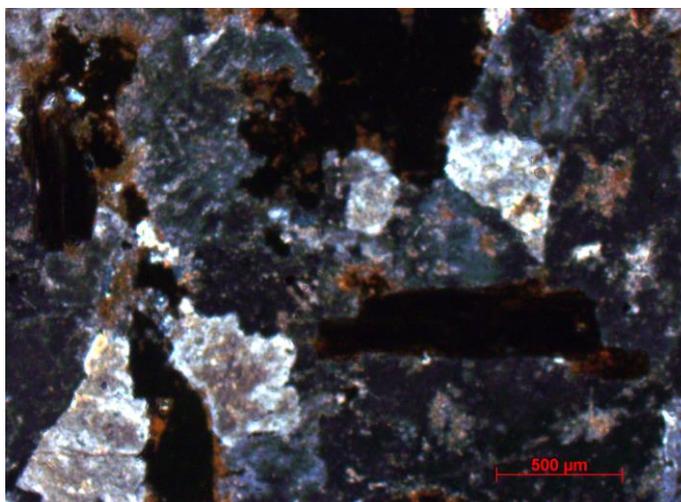


Figura 36 – Foto de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o sienito da pedreira Vigné.

Os minerais presentes na lâmina Vigné 3 são representados na tabela 8 com suas respectivas porcentagens.

Tabela 8 – Minerais da lâmina Vigné 3 e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 14%	Secundário
Sanidina (K-Feldspato)	81%	Clorita	Carbonato
Nefelina	5%	Piroxênio	Sericita
		Pirita	Minerais de argila
		Minerais Opacos	

### 5.2.6 Lâmina Lafarge

Rocha: Granito

Descrição: Rocha com alteração de sericita (muscovita) em cima dos quartzos e plagioclásios e K-feldspatos. Biotitas sofrendo alteração para cloritas (figura 37). Quartzos com extinção ondulante e com contatos retos, tendo poucos com contato corroído. Pórfiros de Plagioclásio e K-feldspatos. Todos minerais contêm microfraturas e muitas vezes são preenchidas por clorita, carbonato e sericita.

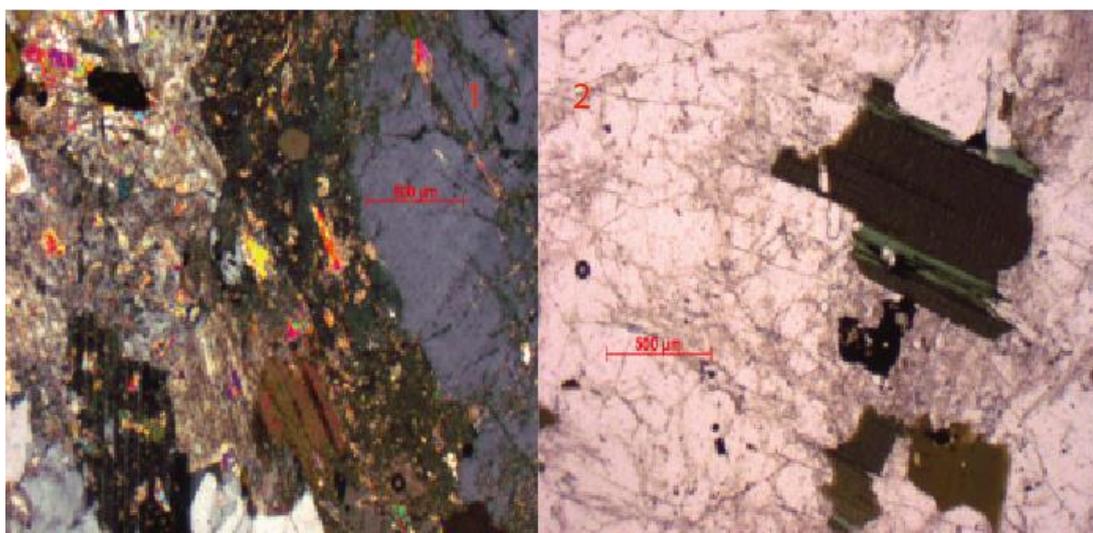


Figura 37 - Fotos de lâmina delgada confeccionada nessa pesquisa representando o granito da pedreira Lafarge. A esquerda sericitas cobrindo os K-feldspatos, plagioclásios e quartzos; A direita cristal de biotita apresentando alteração para clorita e muitas fraturas nos outros minerais incolores presentes na lâmina

Tabela 9 Apresenta os minerais abaixo discriminados e suas respectivas porcentagens para lâmina da pedra Lafarge.

Tabela 9 – Minerais da lâmina Lafarge e suas porcentagens

Minerais constituintes	Porcentagem	Acessórios 1%	Secundário
Biotita	4%	Minerais Opacos	Carbonato
Quartzo	45%	Zircão	Sericita
K-Feldspato	13%	Apatita	Clorita
Plagioclásio	37%		

### 5.3 LOS ANGELES

Na pedra Cispel foram testados a biotita - gnaisse (figura 38), que apresentou degradação por abrasão Los Angeles de 43%. No caso da pedra Vigné, de sienito e traquito (figura 39), obteve-se LA = 24,8% e na amostra da pedra Lafarge, composta de granito, a perda de material correspondeu a 43,7% (figura 40).

As rochas de cada pedra tiveram um comportamento parecido com os apresentados por Ribeiro (2006), considerando a conhecida dispersão deste ensaio. Deve-se considerar também que estes oito anos que separam a coleta de amostras nas pedras pode ter influenciado os resultados, tendo em vista as características de cada frente de exploração da pedra. Na tabela 10 mostram-se os valores comparativos. É mais importante constatar, no entanto, que a pedra Vigné continua tendo maior resistência ao desgaste ou abrasão, compatível com o tipo de rocha



Figura 38 – Biotita - gnaiss da pedreira Cispel antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa



Figura 39 – Traquito e sienito da pedreira Vigné antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa



Figura 40 – Granito da pedreira Lafarge antes e depois do ensaio Los Angeles nesta pesquisa

Tabela 10 – Valores do desgaste Los Angeles para as amostras do presente trabalho comparado aos de Ribeiro (2006) para as mesmas pedreiras

Pedreira	Perda de massa por abrasão Los Angeles brita tipo 1 %		Diferença (%)
	Ribeiro, 2006	Presente trabalho	
Cispel	33,7	43	+9,3
Vigné	18,9	24,8	+5,9
Lafarge	46,7	43,6	-3,1

É importante ressaltar a distribuição granulométrica (figura 41) mostrada pelas três pedreiras depois do ensaio em questão onde se vê uma produção de finos da Lafarge e Cispel muito parecida, em torno de 10% maior que a pedreira Vigné.

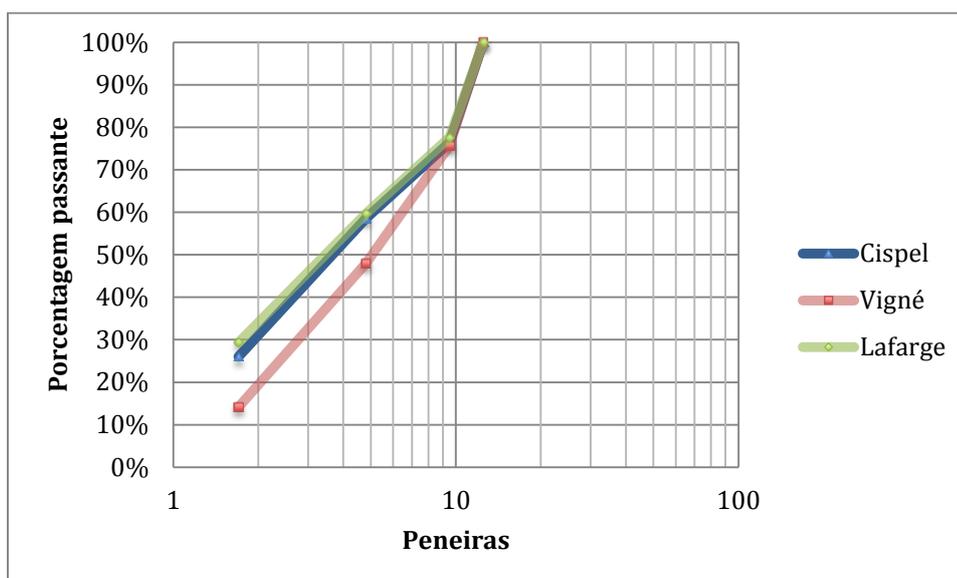


Figura 41 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio abrasão Los Angeles

#### 5.4 TRETON

Os ensaios de impacto Treton (tabela11) tiveram seus resultados muito próximos aos que foram apresentados por Ribeiro (2006), quando se faz uma análise individual, com exceção da Lafarge que teve diferença de 9,9% entre a média dos ensaios. Os resultados das três pedreiras ficaram muito próximos no presente trabalho com a diferença do maior valor de tenacidade para o menor resultado de 6,7%, diferenciando dos apresentados na publicação citada, onde se via grande diferença entre as rochas com melhores resultados (Vigné), com as de piores resultados apresentados (Lafarge), tendo uma diferença de 21,3% entre elas. Foram feitas fotos comparativas antes e depois de cada ensaio realizado, dando para perceber o nível de degradação por impacto em cada material testado (figura 42).



Figura 42 - Características dos agregados desta pesquisa antes e depois da realização do ensaio de impacto Treton das três pedreiras estudadas

Tabela 11 – Valores do desgaste das rochas após o ensaio Treton no presente trabalho e em Ribeiro (2006)

Pedreira	Perda de massa por impacto Treton brita tipo 1 %		Diferença (%)
	Ribeiro, 2006	Presente trabalho	
Cispel	17,6	16,9	-0,7
Vigné	7,5	12,2	+4,7
Lafarge	28,8	18,9	-9,9

No ensaio Treton, a produção de finos passantes na 4,8mm e retida na 1,7mm, (Figura 43) foi diferente da apresentada pelo ensaio Los Angeles (Figura 41) sendo que as pedreiras Vigné e Lafarge produziram 13% de finos a menos que a pedreira Cispel.

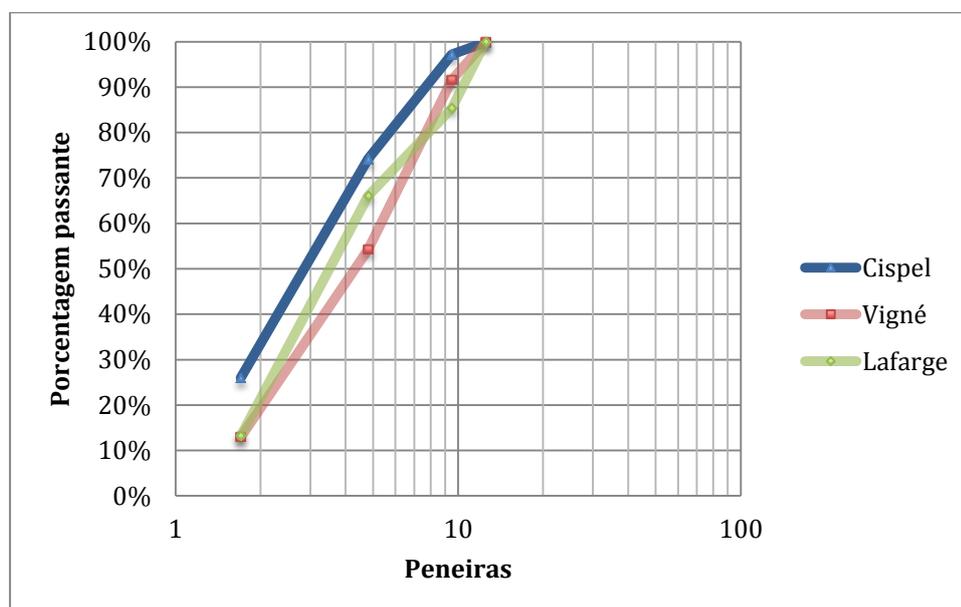


Figura 43 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio impacto Treton

## 5.5 ESMAGAMENTO

Os resultados dos ensaios de esmagamento (tabela 12), comparando a pesquisa atual e a de Ribeiro (2006) mostram semelhança, sendo sempre a pedreira Vigné a de melhor comportamento. A pedreira com melhor resultado e a pior foram as mesmas nas duas pesquisas (Vigné e Cispel respectivamente). É importante ressaltar que em todos os três ensaios a ordem de classificação de resistência a perda de massa foram as mesmas, tendo a Vigné como melhor resultado e Lafarge com os piores. Um fato importante é que no trabalho de Ribeiro (2006), a diferença entre a pedreira Cispel e Vigné são maiores que no atual trabalho. Na figura 44 mostram-se os agregados antes e depois de sofrerem esmagamento pela prensa.

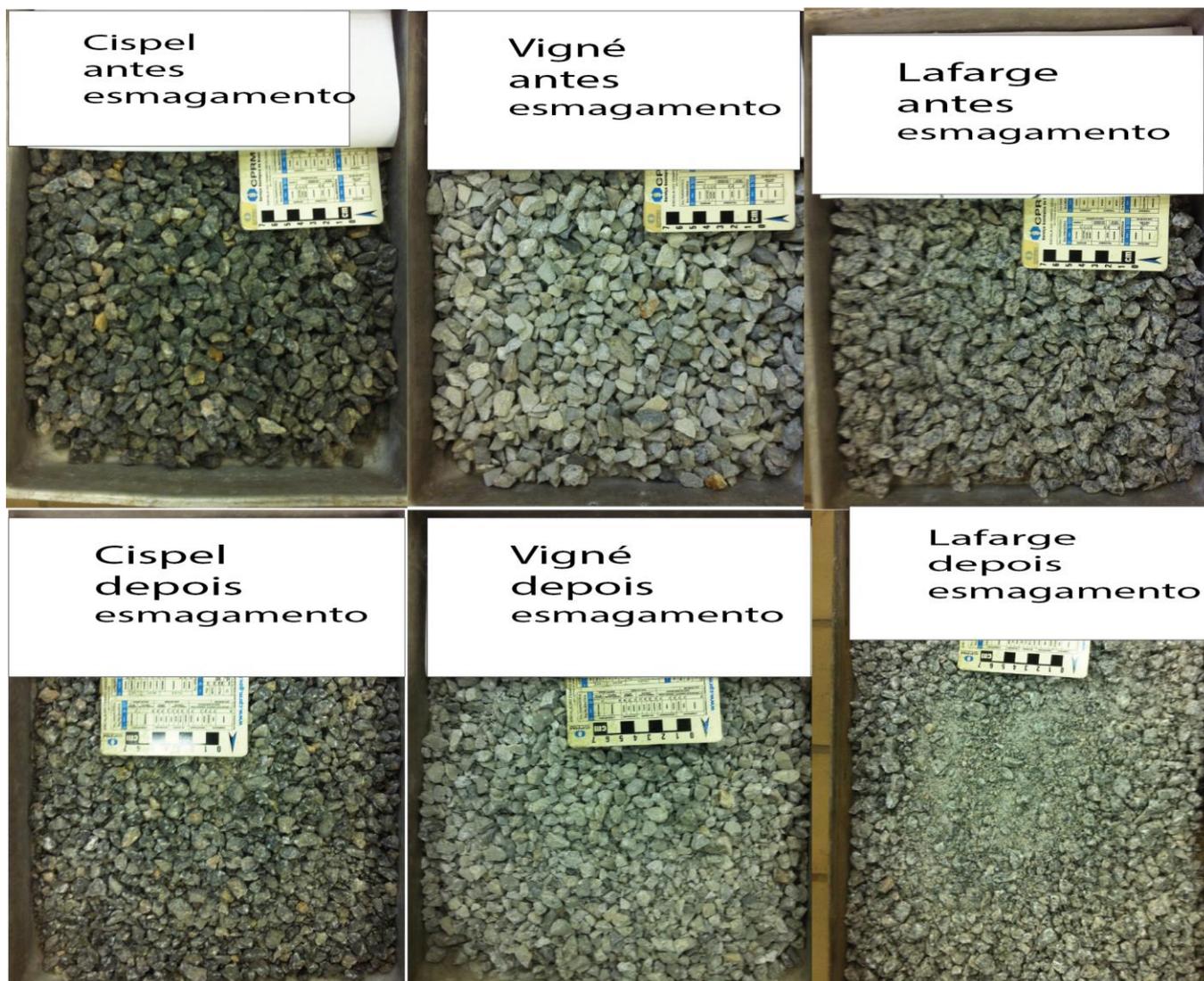


Figura 44 - Características dos agregados antes e depois da realização do ensaio de resistência ao esmagamento das três pedreiras estudadas

Tabela 12 – Valores do desgaste das rochas após o ensaio de resistência ao esmagamento para o presente trabalho e o de Ribeiro (2006)

Pedreira	Perda de massa por esmagamento brita tipo 1 %		Diferença (%)
	Ribeiro, 2006	Presente trabalho	
Cispel	24,7	30,5	+5,8
Vigné	15,8	21,6	+5,8
Lafarge	29,1	31,8	+2,7

O comportamento granulométrico (Figura 45) após esse ensaio foi muito parecido para as três pedreiras estudadas, sendo que a produção de finos das pedreiras Vigné e Cispel são ligeiramente menores, chegando a 3% de diferença, da pedra Lafarge.

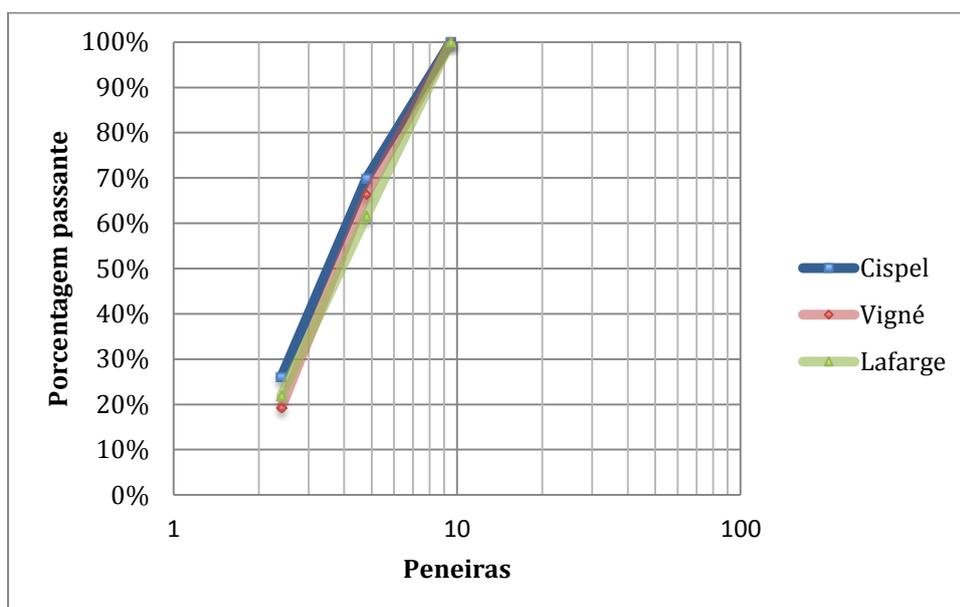


Figura 45 – Granulometria das três pedreiras amostradas após ensaio de resistência ao esmagamento

## 5.6 AIMS

Trabalhos anteriores mostram o emprego do equipamento AIMS para estudar a variação do tipo de característica da superfície dos grãos quando são submetidos a algum ensaio de desgaste das partículas dos agregados, tais como na abrasão LA e outros.

Como exemplo, Bessa (2012) usou o AIMS para determinar a variação da textura provocada no ensaio LA de amostras de rochas britadas de três pedreiras da região metropolitana do Ceará das litologias: gnaiss, granito e fonólito. Os seus resultados mostraram menor resistência em relação ao desgaste superficial para o fonólito e maior para o granito quando medido pelo critério do LA, que avalia a variação granulométrica somente numa peneira. Porém, mesmo tendo menor

resistência, o fonolito permaneceu com rugosidade maior que as outras duas rochas também testadas. Já nos valores de angularidade foi constatado que o granito testado teve menor resistência ao impacto, quando foi medida a perda de massa o agregado que teve maior perda (maior quebra dos seus grãos) mais uma vez foi o granito, tendo o fonolito como melhor resultado.

Na presente pesquisa os resultados do AIMS, antes e depois dos três ensaios mecânicos, foram plotados em gráficos, que ajudam a mensurar as possíveis perdas nas propriedades médias de angulosidade e textura dos grãos de cada tipo de rocha analisado. De cada pedreira foram separados os materiais resultantes de cada ensaio mecânico, tendo como referência as peneiras que o AIMS utiliza em seus procedimentos (tabela 2). No caso do Los Angeles foram usados agregados retidos nas peneiras 12mm e 9,5mm, sendo produzidas amostras parciais de partículas retidas nas peneira 12mm até 1,7mm. No ensaio Treton foram ensaiados agregados retidos na peneira de abertura 16mm, o que gerou partículas retidas na peneira 12,5mm até 1,7mm. No ensaio esmagamento os agregados ensaiados foram os retidos na peneira 9,5mm e foram separados, depois do ensaio, agregados retidos na peneira 9,5mm até 2,4mm.

### **5.6.1 AIMS após abrasão Los Angeles**

Em relação aos gnaiesses da pedreira Cispel é notada na figura 46 uma diminuição da angularidade enquanto que na figura 47 a textura não mostrou alteração alguma; já na figura 48 faz-se a comparação da fração 9,5mm antes e depois do ensaio Los Angeles e percebe-se um aumento da esfericidade. Estes comportamentos observados das partículas de 9,5mm são similares aos de 12,5mm como mostram as figuras 49-51.

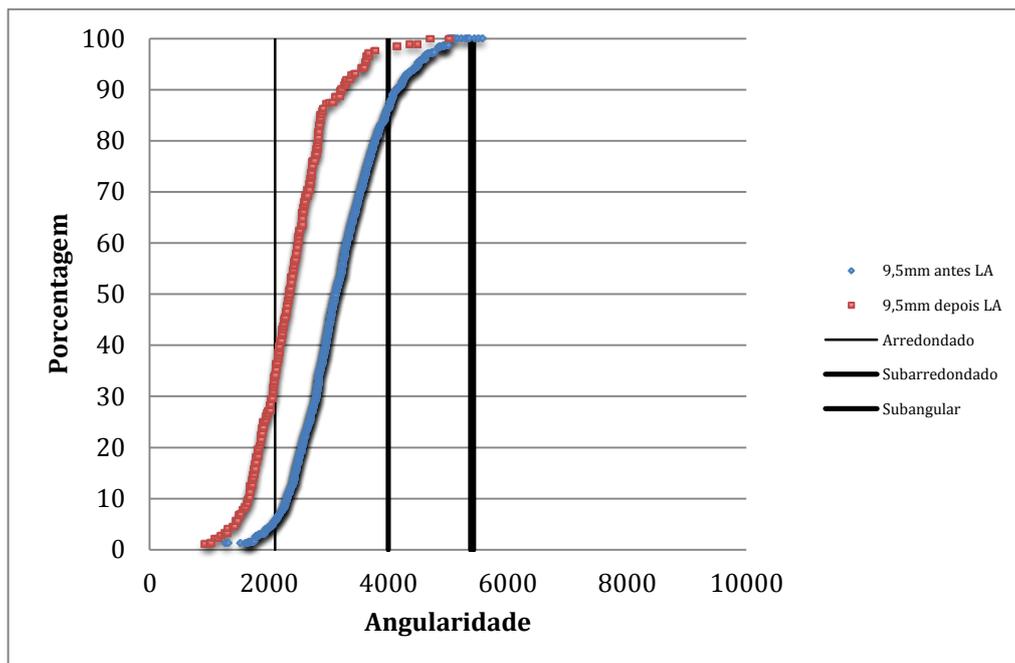


Figura 46 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.

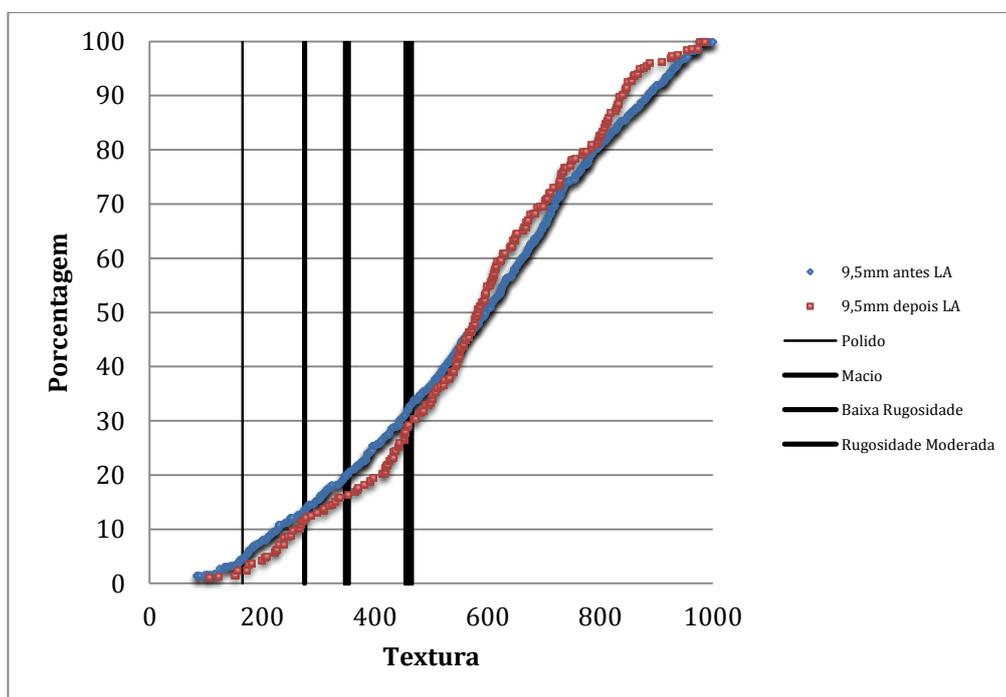


Figura 47 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.

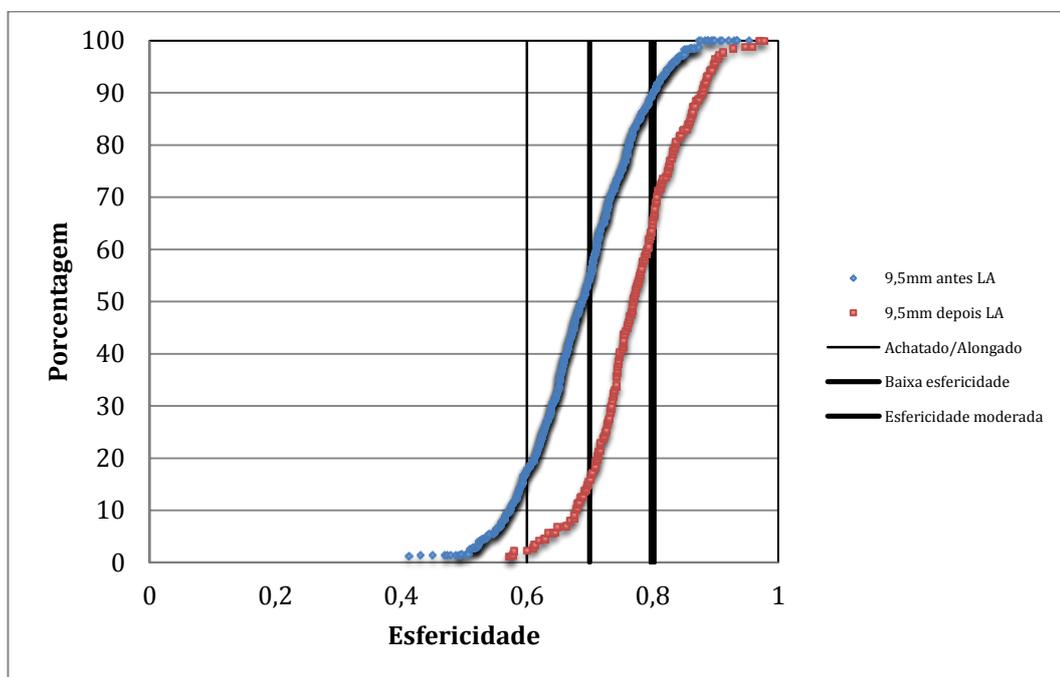


Figura 48 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedra Cispel.

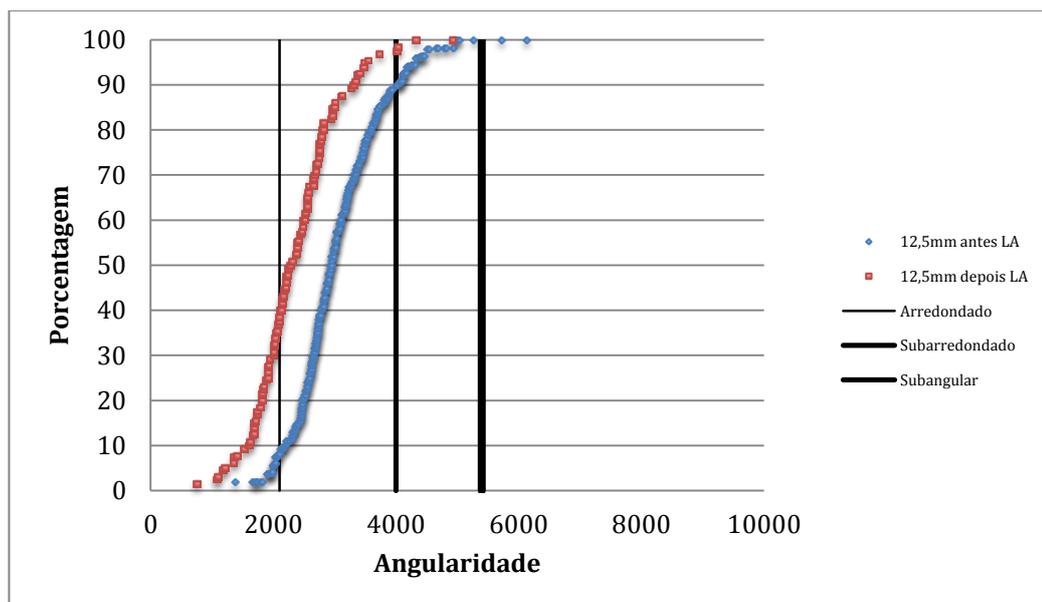


Figura 49 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedra Cispel.

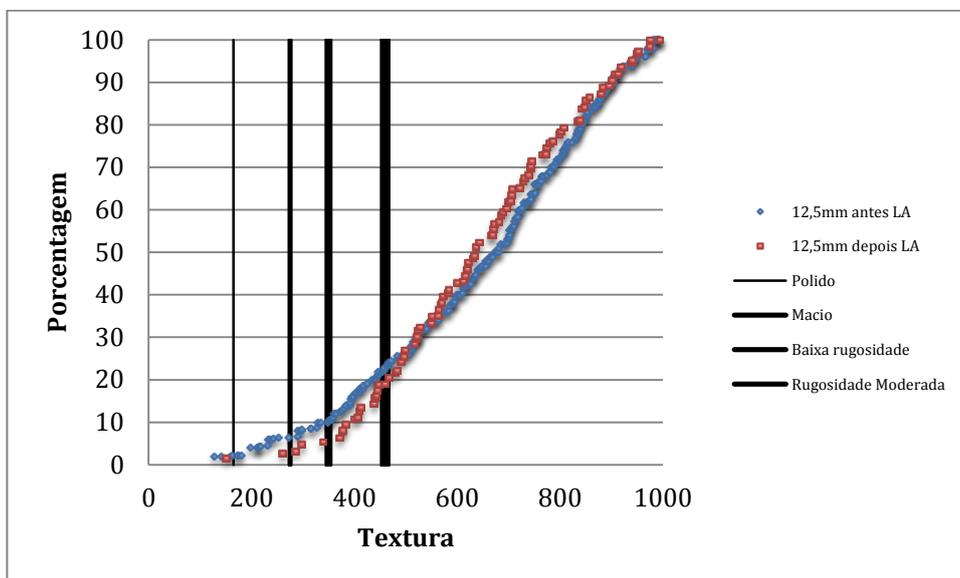


Figura 50 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.

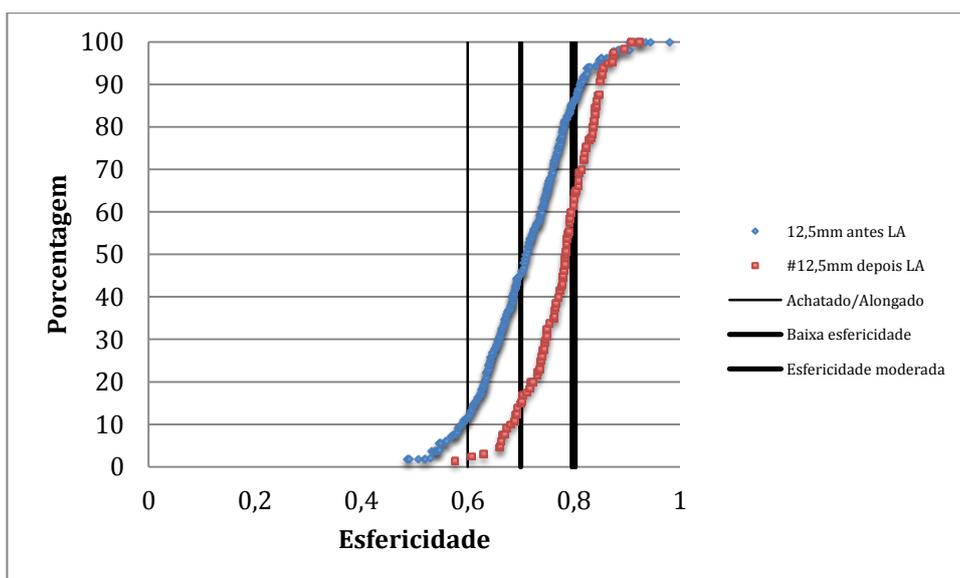


Figura 51 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtida antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Cispel.

Quando se juntam os resultados de angularidade das partículas de todos os tamanhos produzidos após o Los Angeles (figura 52) percebe-se o comportamento praticamente igual dos agregados retidos nas peneiras 12,5mm e 9,5mm, depois de ter sofrido o esforço mecânico. O material retido na peneira 4,8mm, depois da abrasão, apresentou diminuição na angularidade em relação ao material de maior graduação de origem, porém, comparado ao retido nas peneiras de maior tamanho (9,5mm e 12,5mm), apresentou leve aumento nos seus valores. No agregado passante na 4,8mm e retido na 1,7mm observa-se acréscimo na angularidade ficando ligeiramente maior que o material de maior granulometria antes de ser submetido ao ensaio de abrasão Los Angeles.

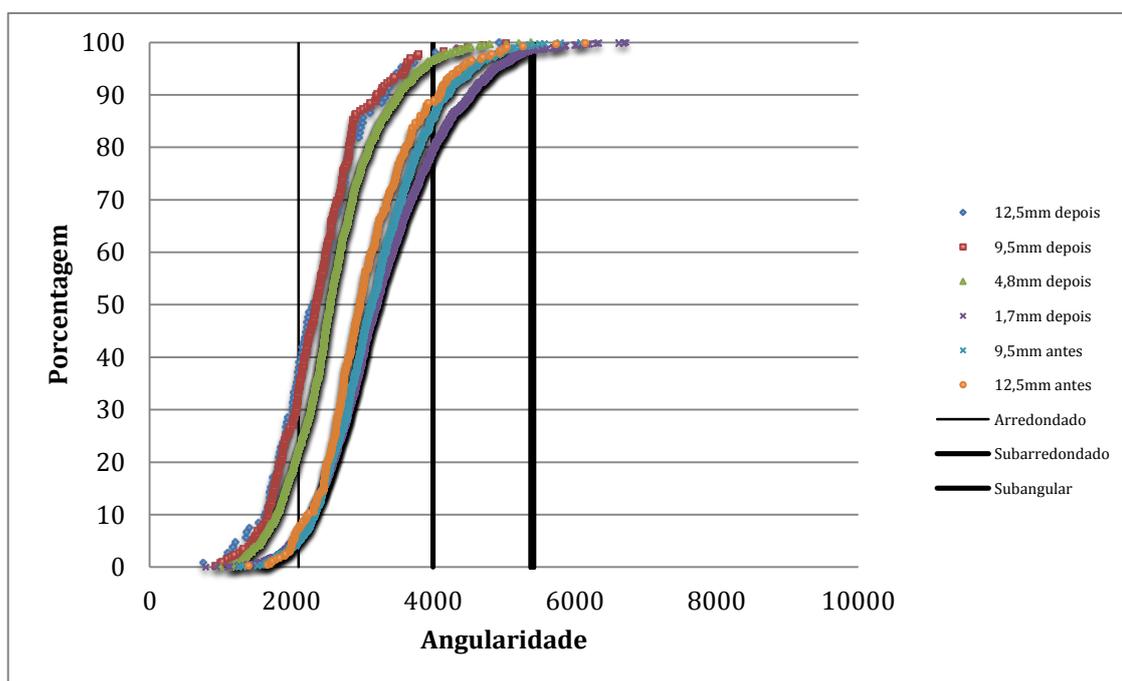


Figura 52 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaiss da pedra Cispel.

Com relação à textura (figura 53) percebe-se que os valores de todos são muito próximos, com exceção das partículas na fração mais fina (4,8mm) que mostra ser mais lisa que as outras frações.

Quanto à esfericidade (figura 54), o material apresentou um comportamento parecido para todas as frações, com o aumento da esfericidade.

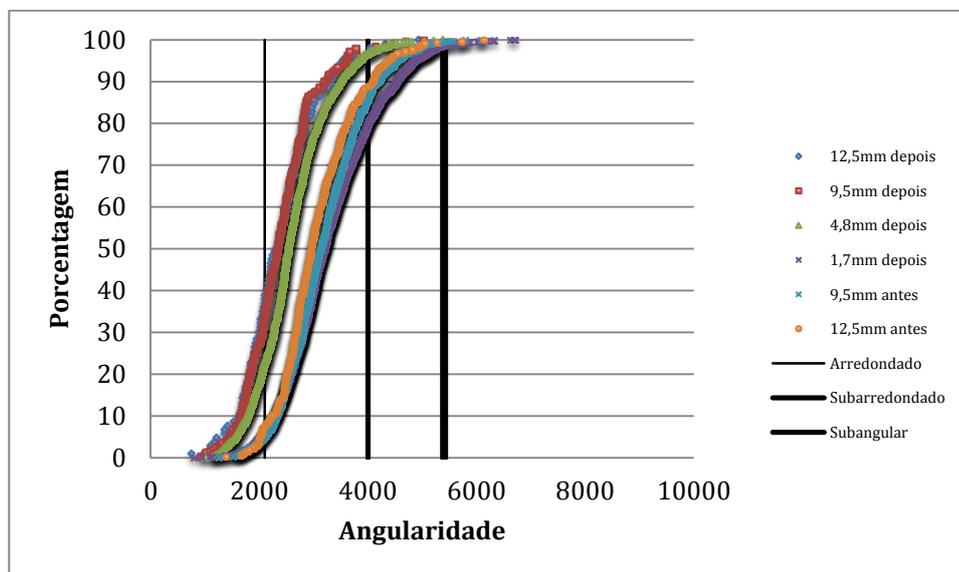


Figura 53 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaíse da pedreira Cispel.

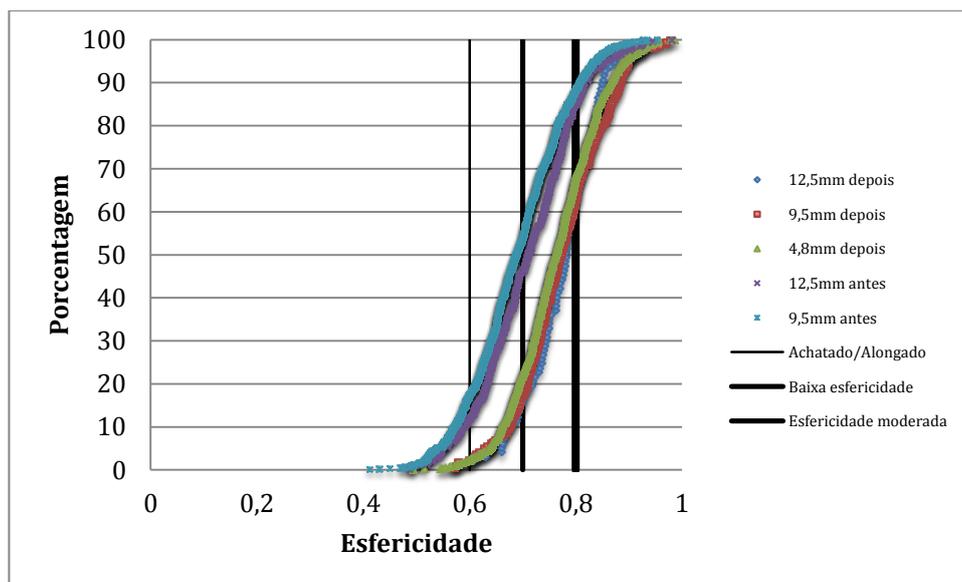


Figura 54 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaíse da pedreira Cispel.

Quando aplicada mesmo método de análise nos sienitos e traquitos da pedreira Vigné e depois submetidos à abrasão Los Angeles, o comportamento em relação à angularidade dos agregados retidos na peneira de 12,5mm (Figura 55) é de uma tendência de diminuição no mesmo grau que a ocorrida na pedreira Cispel, ainda assim as partículas da pedreira Vigné tendem a ter um valor de angularidade maior que as apresentadas pela pedreira Cispel. O mesmo ocorre para as partículas retidas na peneira de 9,5mm (Figura 56), onde também apresentou tendência de diminuir a angularidade em relação ao agregado antes de sofrer a abrasão, porém os valores obtidos para essa peneira são discretamente maior que os apresentados pelos materiais de maior tamanho.

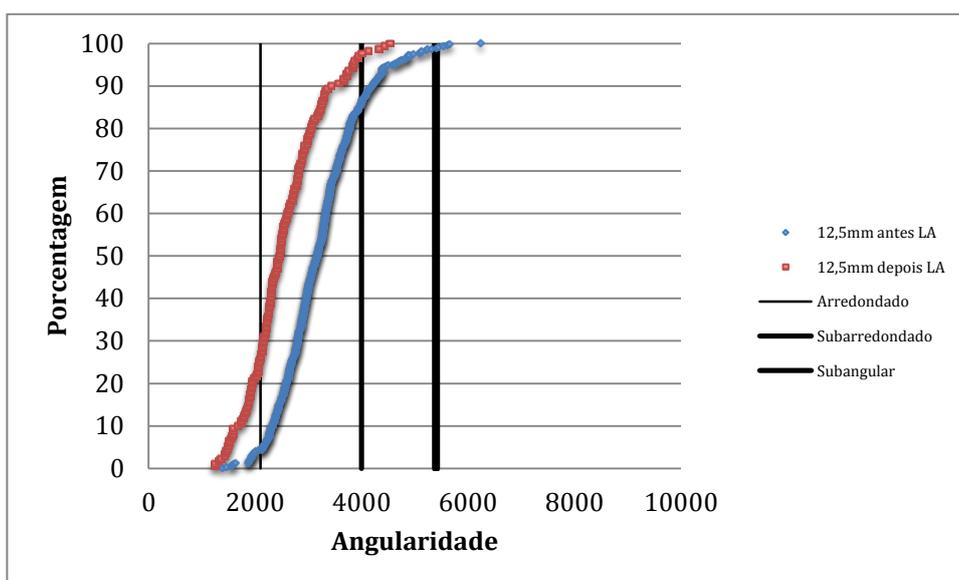


Figura 55 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaisse da pedreira Vigné.

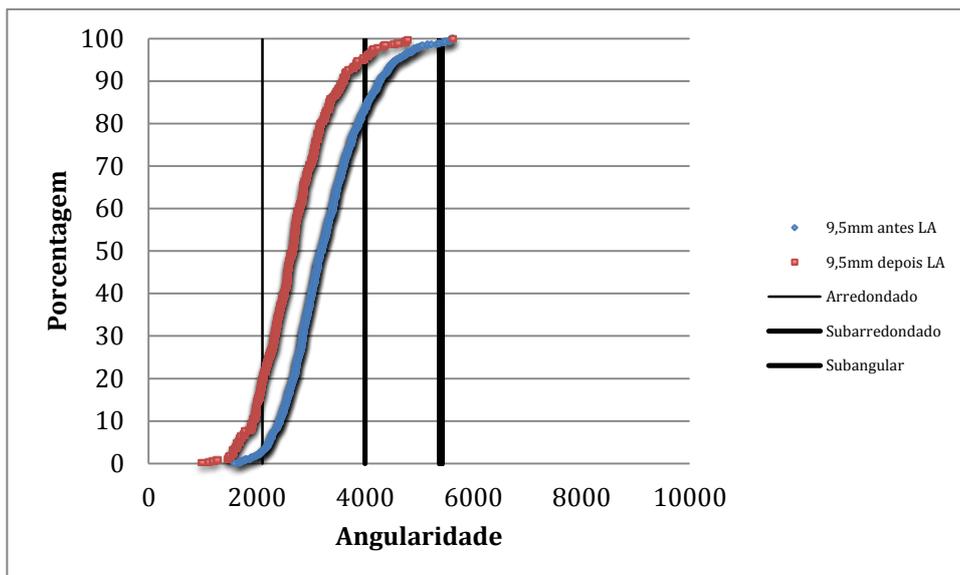


Figura 56 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaíse da pedra Vigné.

Na figura 57 é feita uma comparação da angularidade de todos os tamanhos da pedra Vigné e percebe-se um comportamento parecido para todos. Tendo uma pequena tendência de menor perda de angularidade para as partículas de menor tamanho.

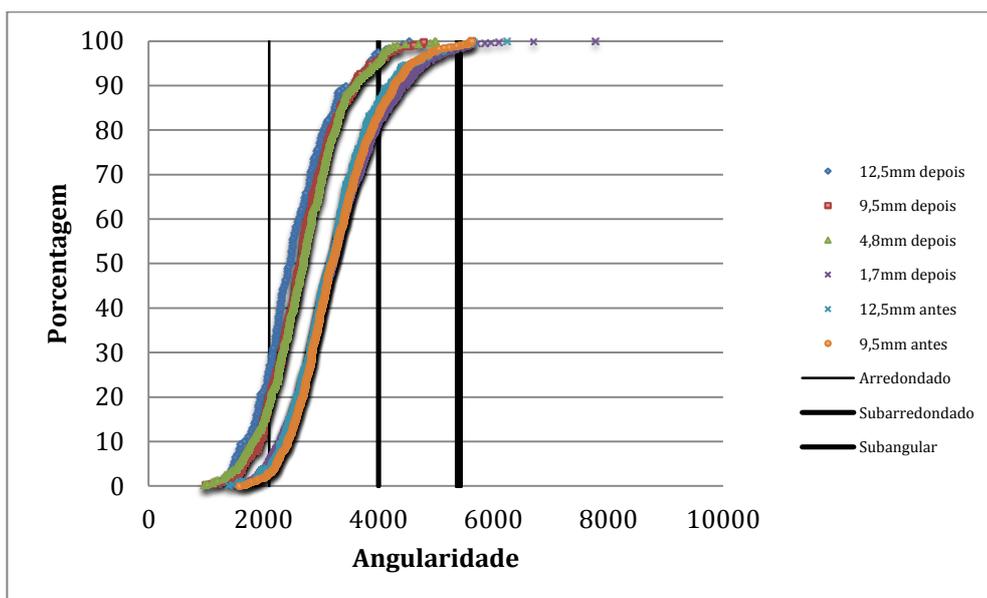


Figura 57 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no gnaíse da pedra Vigné.

Em relação à textura nota-se um comportamento equivalente para todas as granulometrias testadas (Figuras 58 a 60): praticamente não apresentou alteração nos resultados em relação a textura antes de ser submetida ao ensaio Los Angeles, com exceção das partículas passante na peneira 9,5mm e retida na de 4,8mm, que apresentou uma textura mais lisa que as demais partículas maiores.

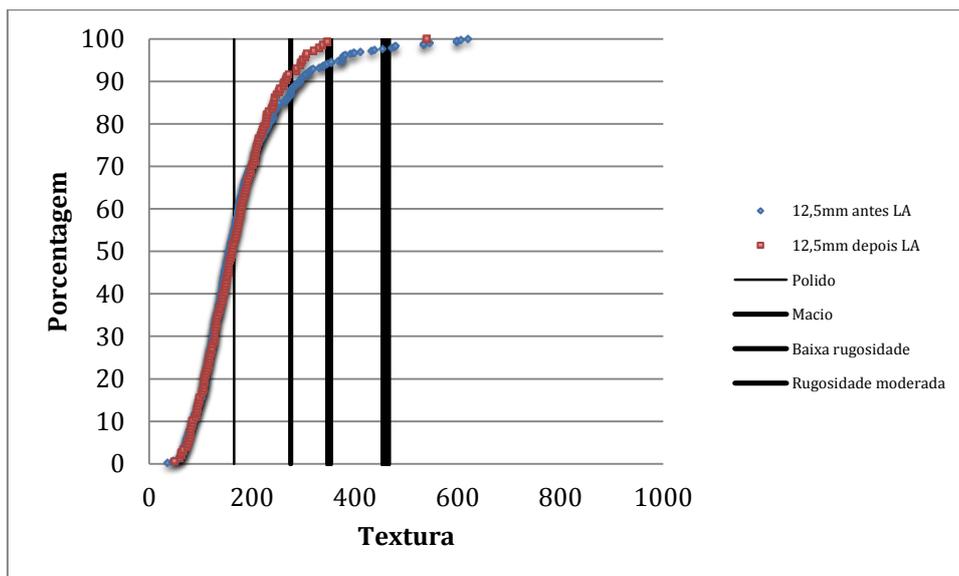


Figura 58 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.

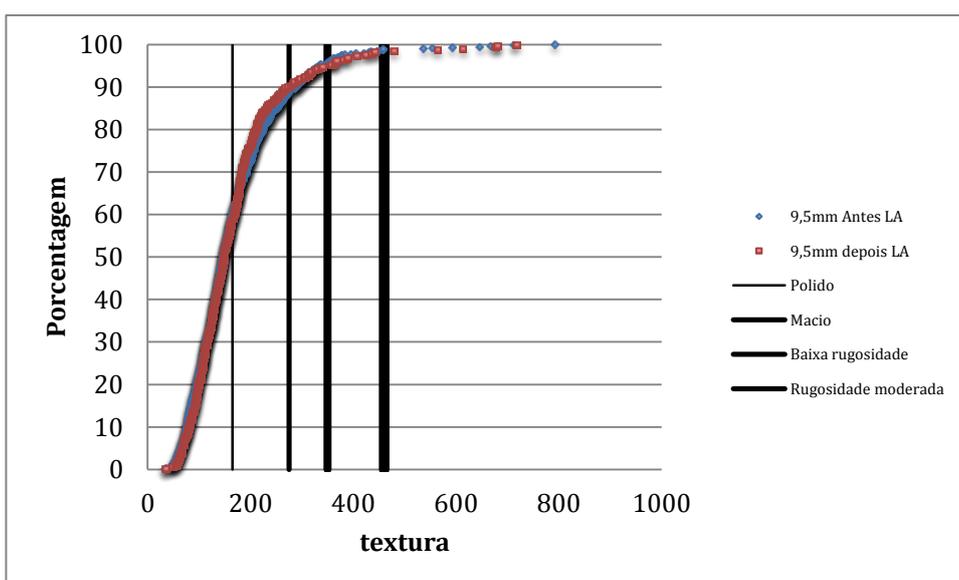


Figura 59 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.

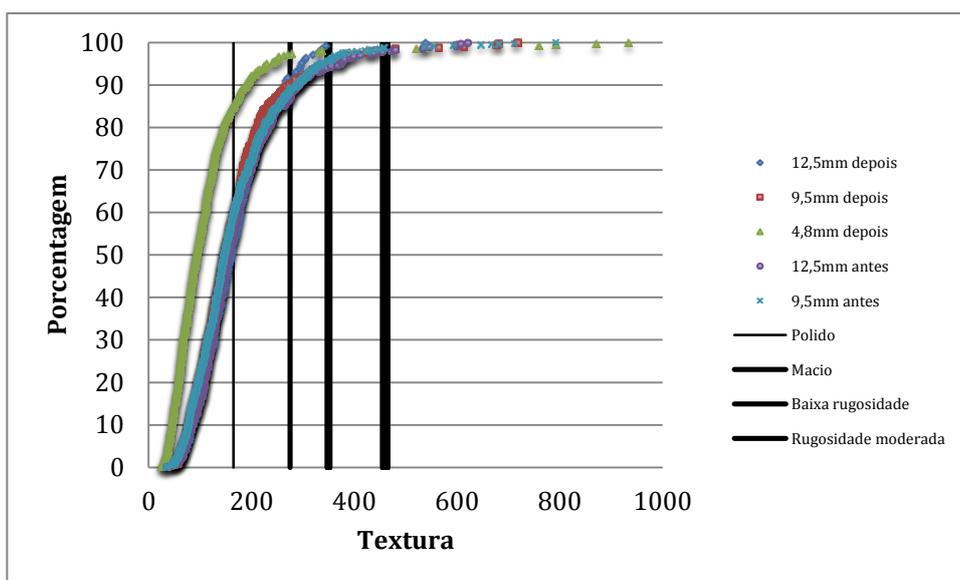


Figura 60 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedra Vigné.

Em relação à esfericidade (Figuras 61 à 63) os agregados da pedra Vigné tiveram comportamento de todas as partículas muito parecido seguindo a mesma tendência, tendo um aumento na esfericidade depois do ensaio Los Angeles.

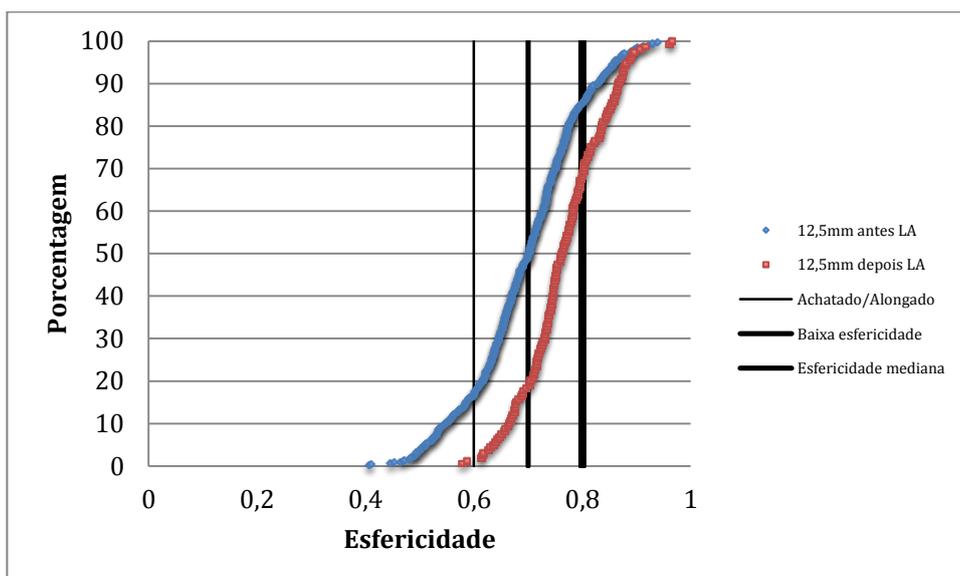


Figura 61 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedra Vigné.

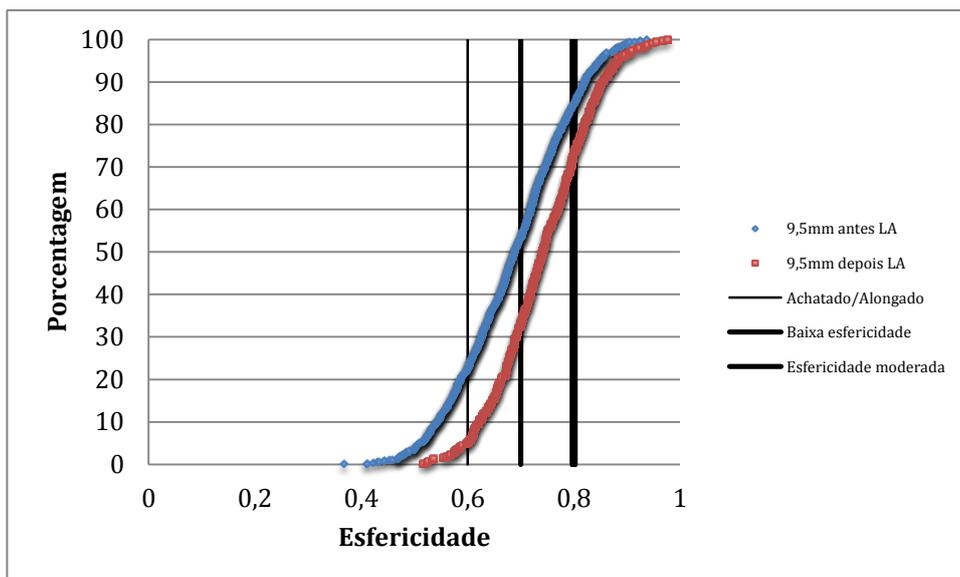


Figura 62 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.

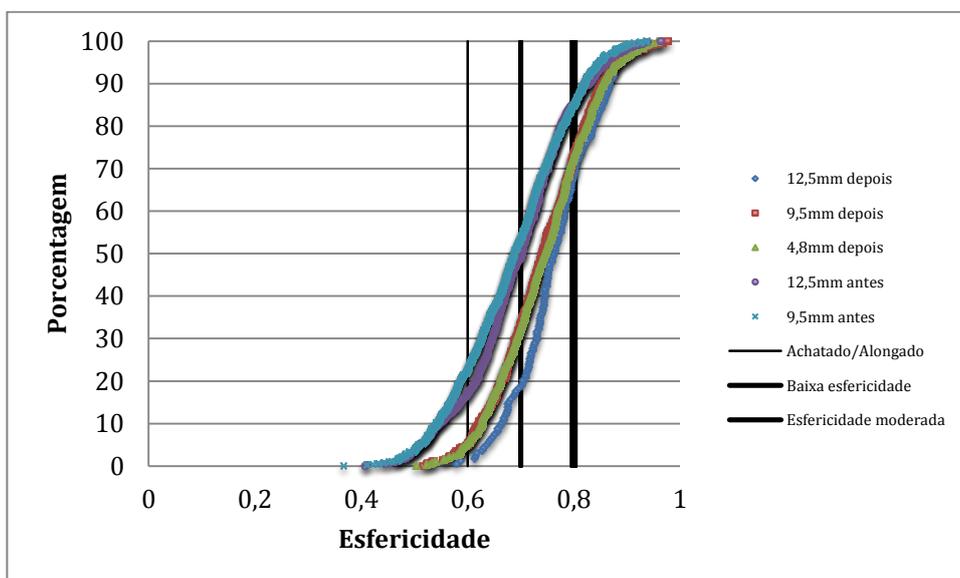


Figura 63 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no traquito/sienito da pedreira Vigné.

Com relação a angularidade (Figuras 64 a 66), no granito da pedreira Lafarge percebe-se uma diminuição nos valores depois do ensaio Los Angeles acompanhando a tendência das outras duas pedreiras. É importante constatar a alta angularidade mostradas pelas partículas de menor tamanho (retidas na peneira

1,7mm), sendo que o comportamento geral mostra uma tendência de aumento da angularidade com a diminuição do tamanho das partículas amostradas.

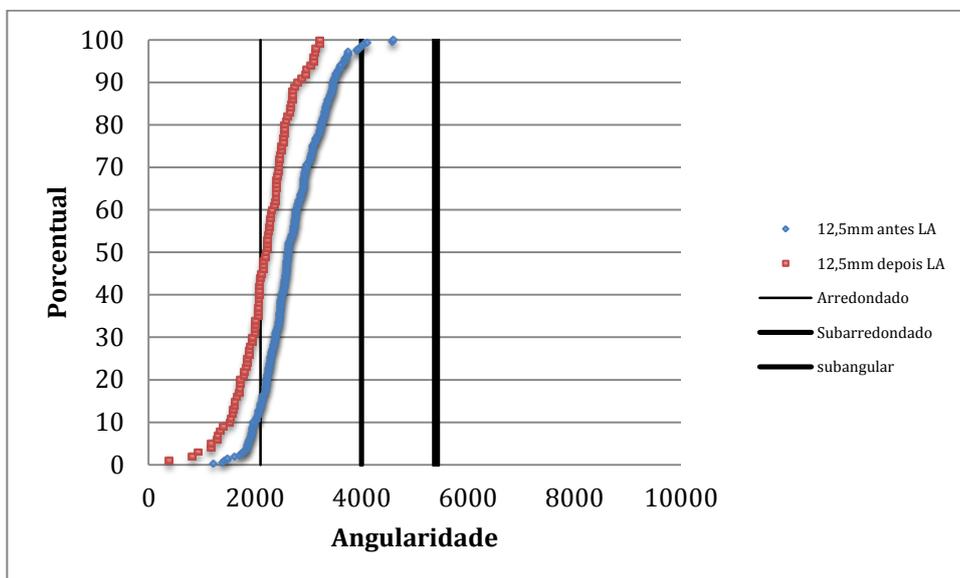


Figura 64 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

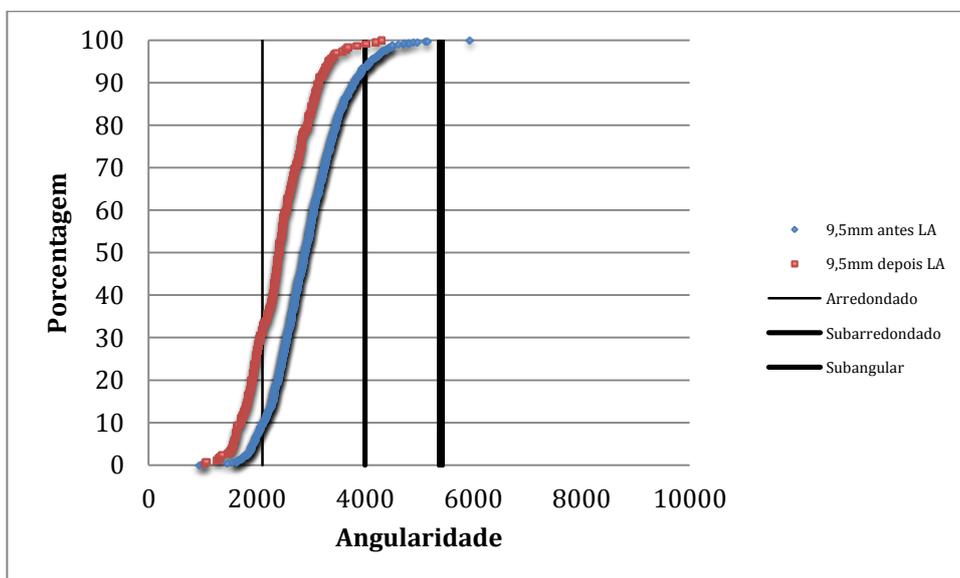


Figura 65 – Angularidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

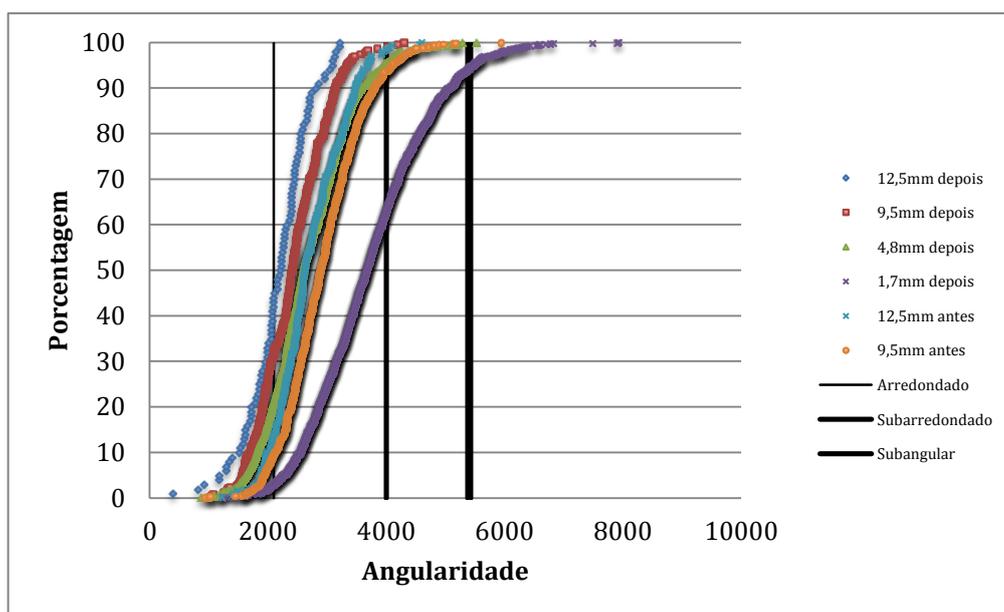


Figura 66 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

Em relação a textura (Figura 67 a 69) vê-se mais uma vez o comportamento parecido com as outras rochas onde não teve praticamente alteração entre as partículas testadas, com exceção mais uma vez dos grãos retidos na peneira 1,7mm que apresentou ser mais lisa do que as outras partículas testadas.

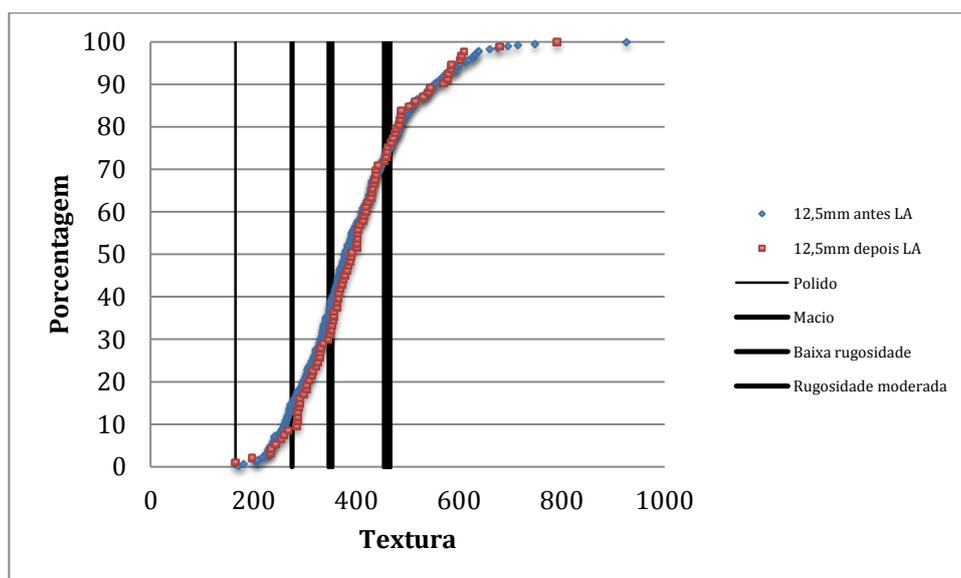


Figura 67 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

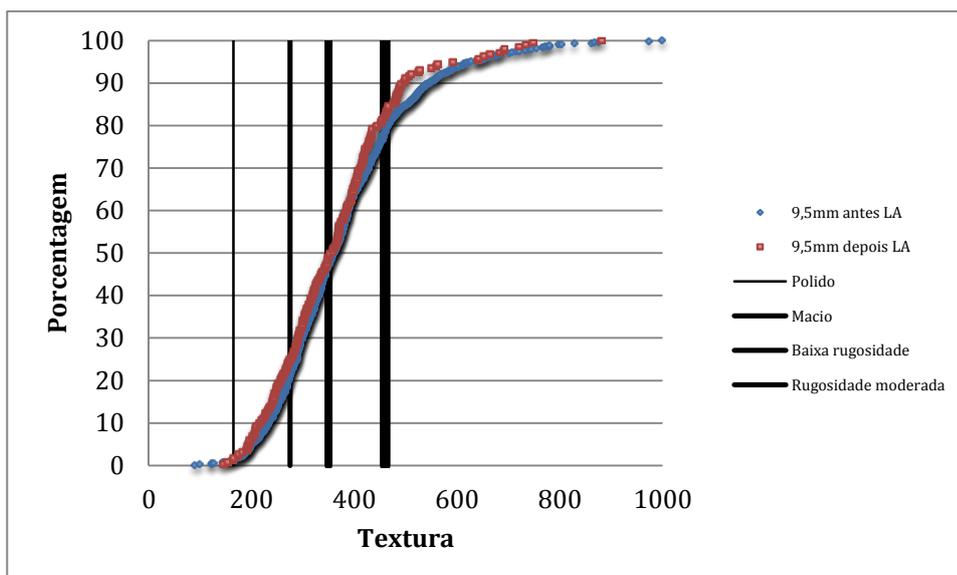


Figura 68 – Textura comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

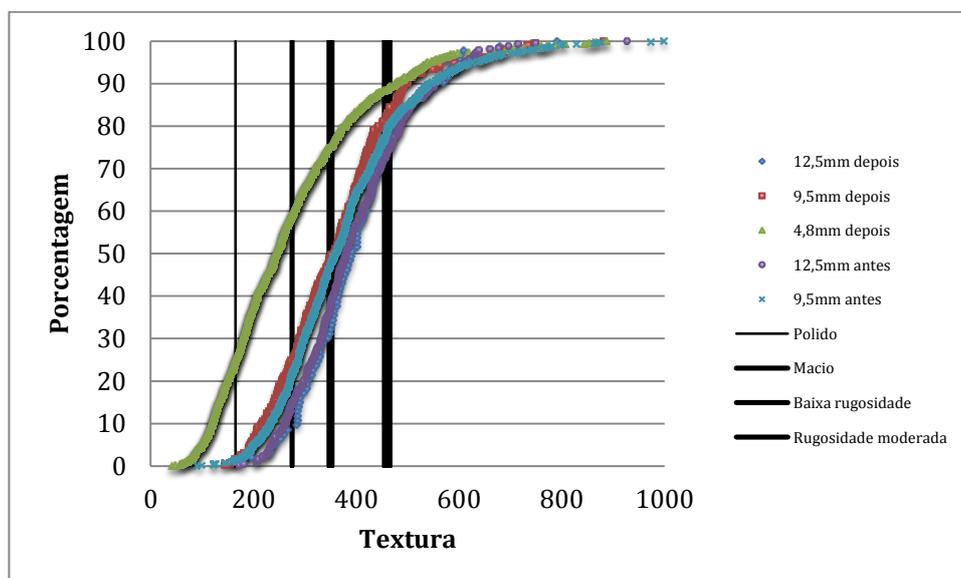


Figura 69 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

No caso da esfericidade (Figura 70 a 72), ela mostra um aumento em todos os materiais testados, e todos eles ficando na mesma faixa de valores, mostrando uma mesma tendência de ganho de esfericidade. O comportamento para esse atributo foi praticamente o mesmo para as três pedreiras presentes no presente trabalho.

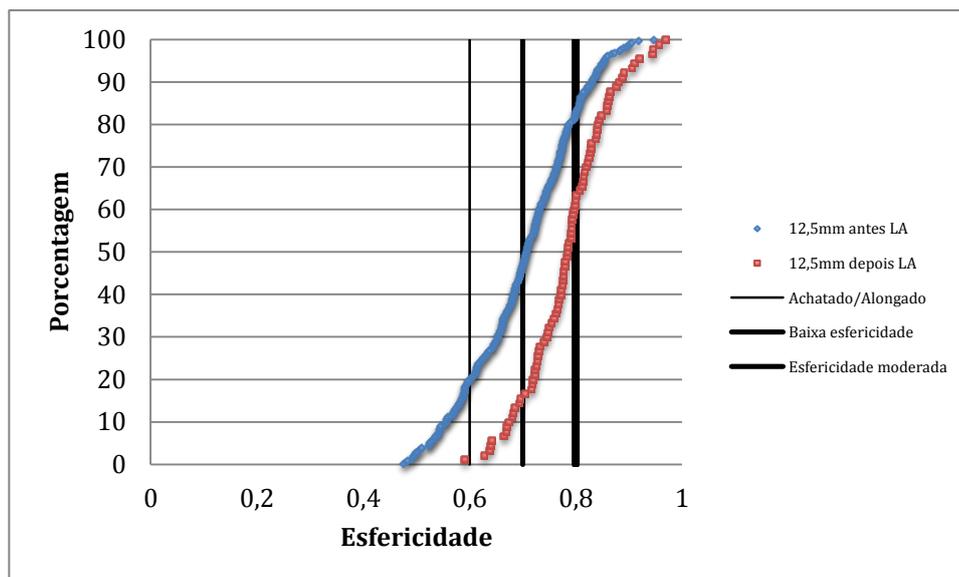


Figura 70 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 12,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

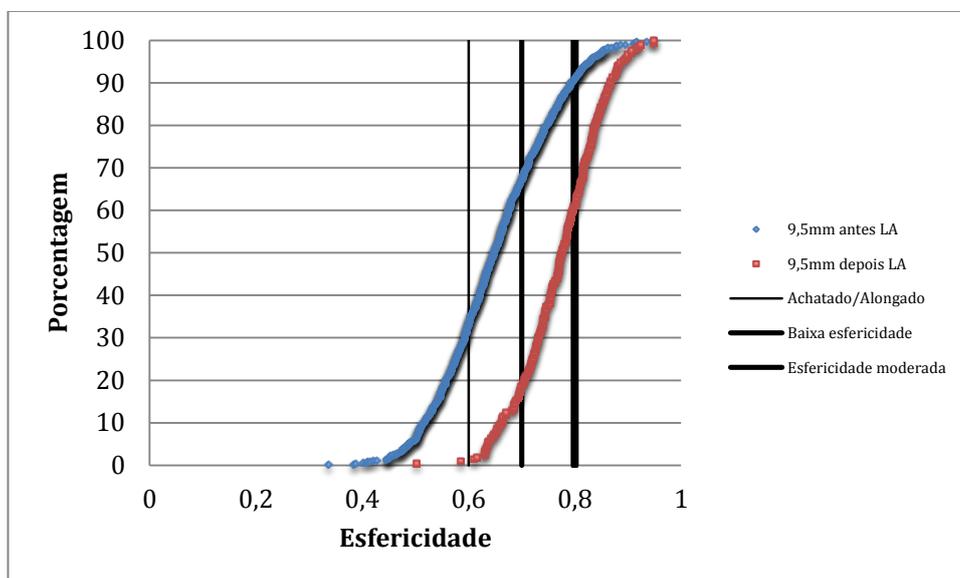


Figura 71 – Esfericidade comparativa entre o material retido na peneira de abertura 9,5mm obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

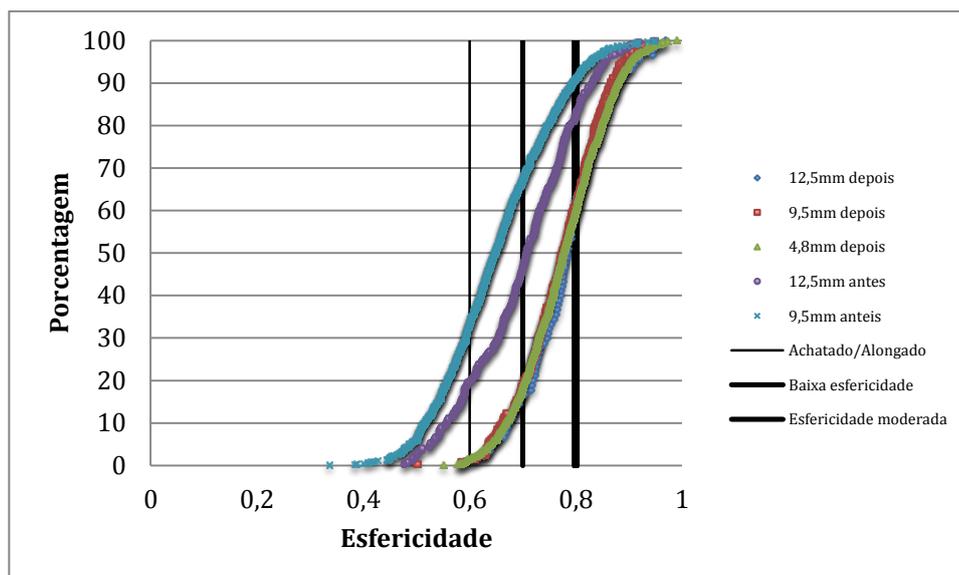


Figura 72 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de abrasão Los Angeles no granito da pedreira Lafarge.

### 5.6.2 AIMS após impacto Treton

O resultado do Treton, como o do ensaio abrasão Los Angeles, foi representado em tabelas que mostram o comportamento de todos os materiais retidos nas peneiras 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm resultantes do impacto fornecido pelo ensaio.

A figura 73 mostra que na pedreira Cispel ocorreu um aumento da angularidade com a diminuição da granulometria gerada, já na figura 74 mostra-se a mesma tendência do ensaio Los Angeles com as faixas de textura praticamente iguais antes e depois do ensaio de Impacto. A figura 75 mostra a esfericidade com a mesma tendência mostrada após o Los Angeles, ou seja os valores de 9,5mm e 12,5mm com comportamentos parecidos, aumentando a esfericidade, enquanto a fração mais fina (4,8mm) tende a se aproximar da esfericidade do material original antes do teste.

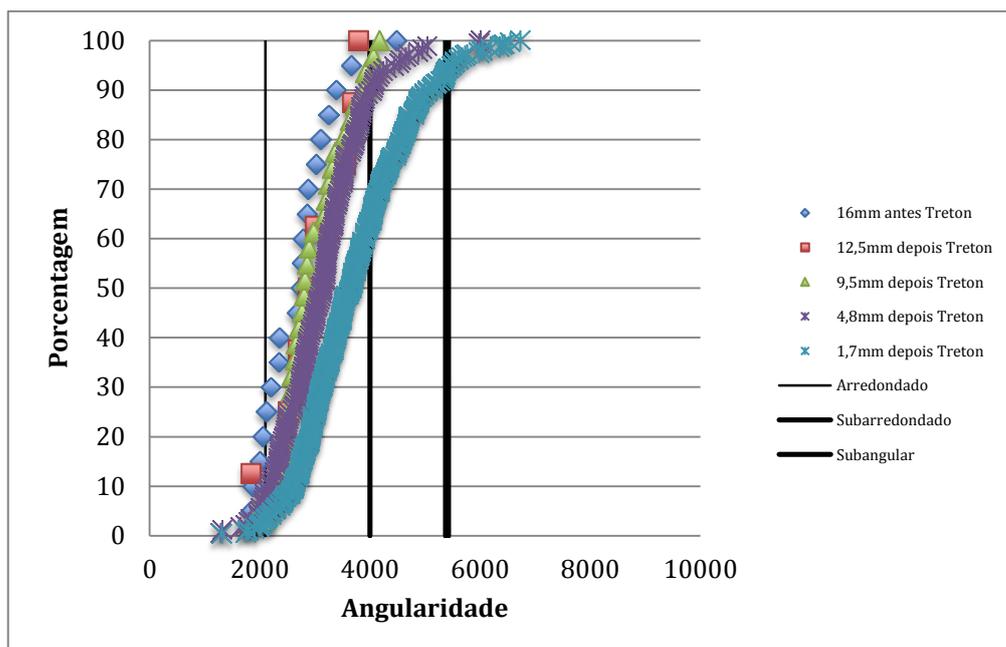


Figura 73 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaiss da pedra Cispel

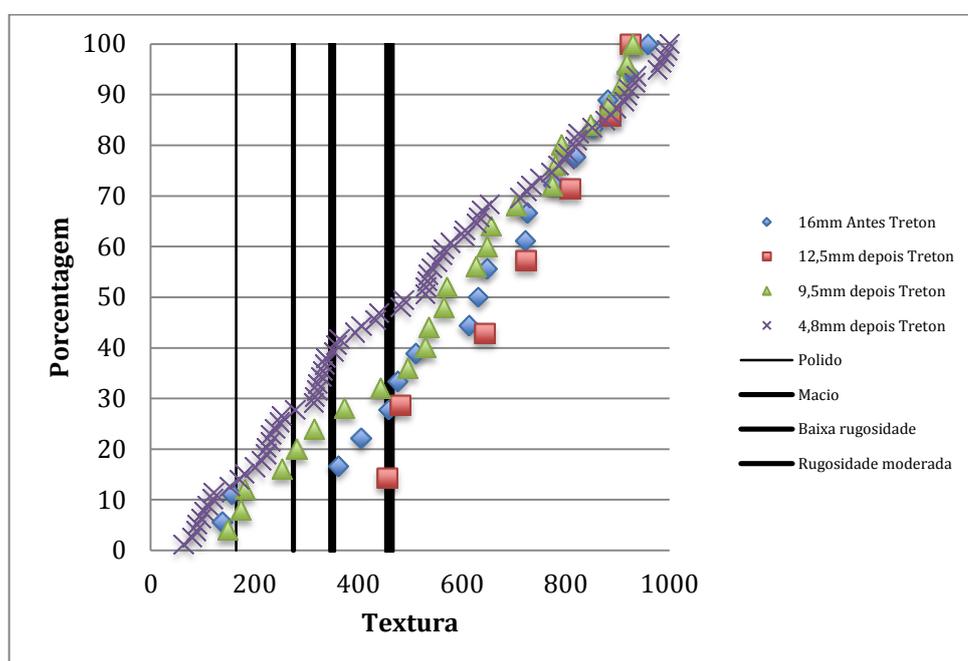


Figura 74 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaiss da pedra Cispel.

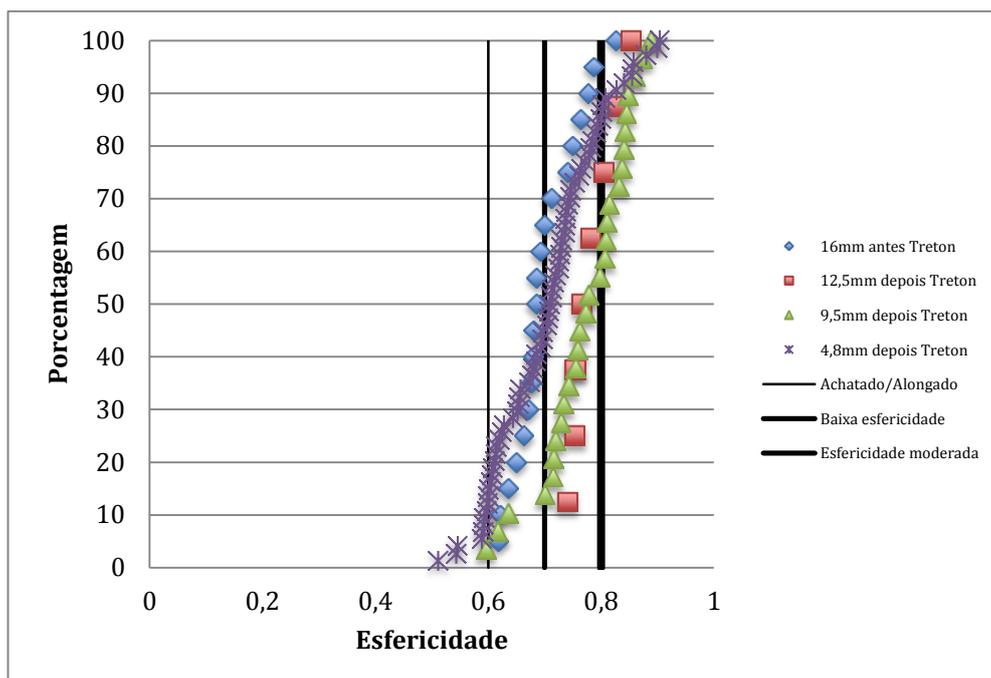


Figura 75 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no gnaiss da pedreira Cispel.

A figura 76 mostra os resultados para angularidade na pedreira Vigné após o ensaio Treton, o comportamento observado nesse gráfico é o mesmo que o demonstrado pelos granitos na pedreira Cispel, onde as menores frações produzidas tendem a ser mais angulosas que as maiores. Quanto à sua textura (Figura 77) o comportamento foi muito parecido com o mostrado no ensaio Los Angeles, onde não teve mudança significativa nas faixas de rugosidade, sendo que a fração mais fina gerada mostrou ser mais lisa que as frações maiores testadas. Como aconteceu nos dois atributos anteriores na esfericidade (Figura 78) a rocha teve o mesmo desempenho, onde todas as frações praticamente não sofreram alteração na sua esfericidade exceto na fração mais fina que apresentou diminuição.

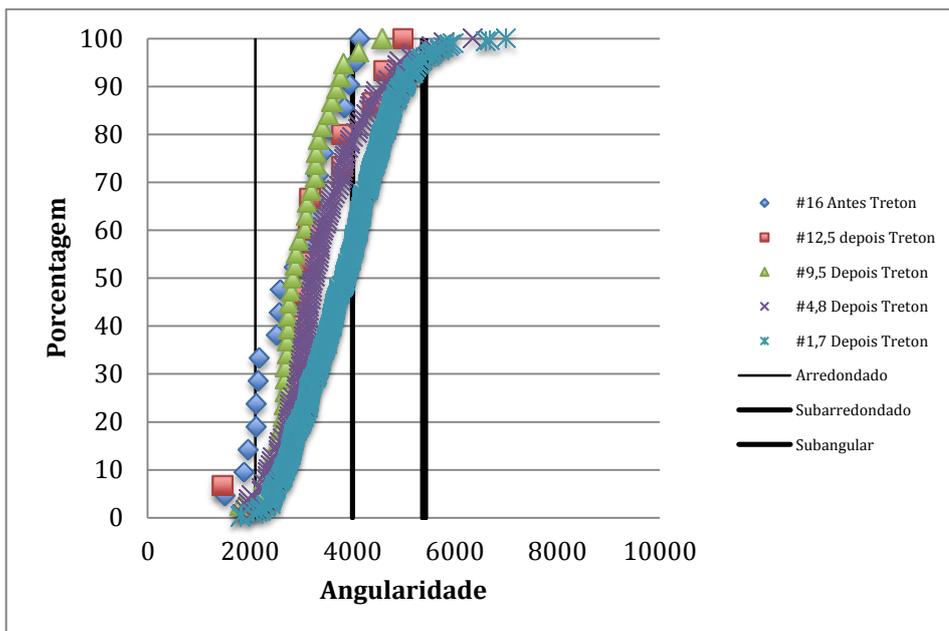


Figura 76 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedreira Vigné.

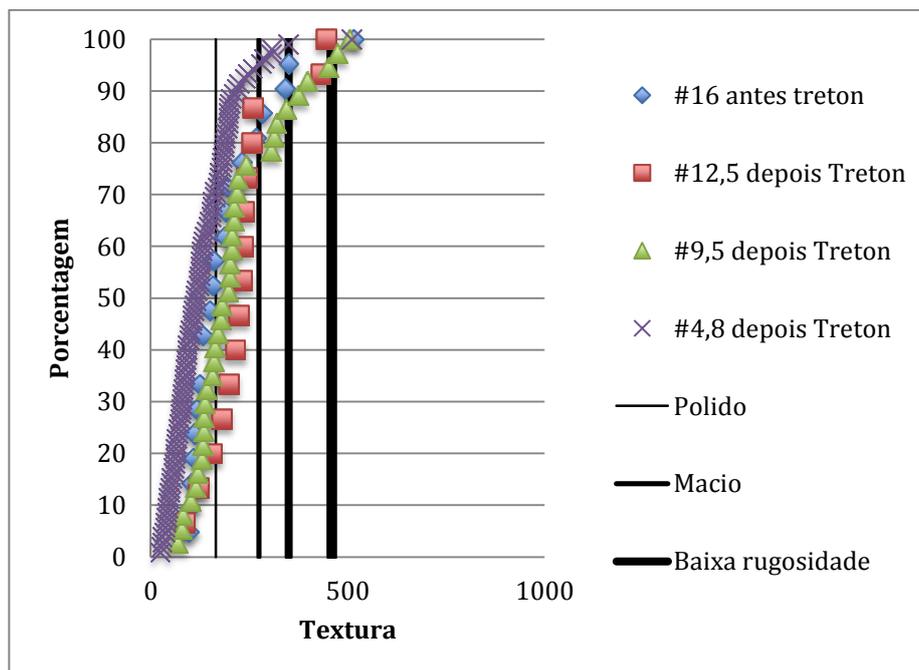


Figura 77 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedreira Vigné.

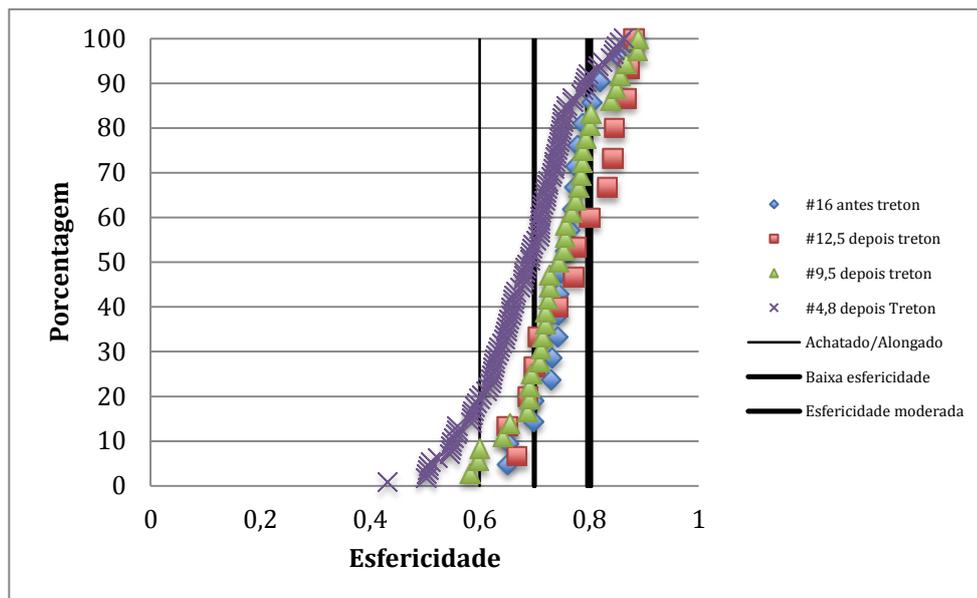


Figura 78 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no traquito/sienito da pedreira Vigné.

Não diferindo das outras pedreiras citadas, os granitos da pedreira Lafarge, em relação ao ensaio de impacto Treton (Figura 79 a 81), apresentaram comportamento muito parecido para as três propriedades medidas pelo AIMS em relação às mostradas após o ensaio Los Angeles. A angularidade mostrou um aumento de acordo com a diminuição da granulometria gerada. Na textura, o comportamento da fração mais fina se mostrou mais lisa que as demais geradas pelo ensaio, enquanto que a esfericidade teve diminuição à medida que diminuía as frações geradas pelo Treton.

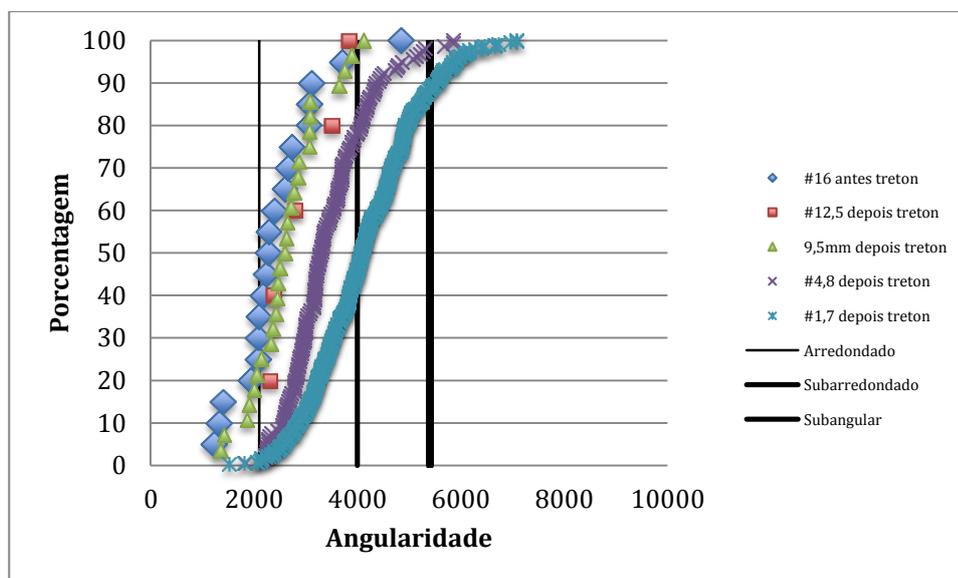


Figura 79 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm, 4,8mm e 1,7mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedreira Lafarge.

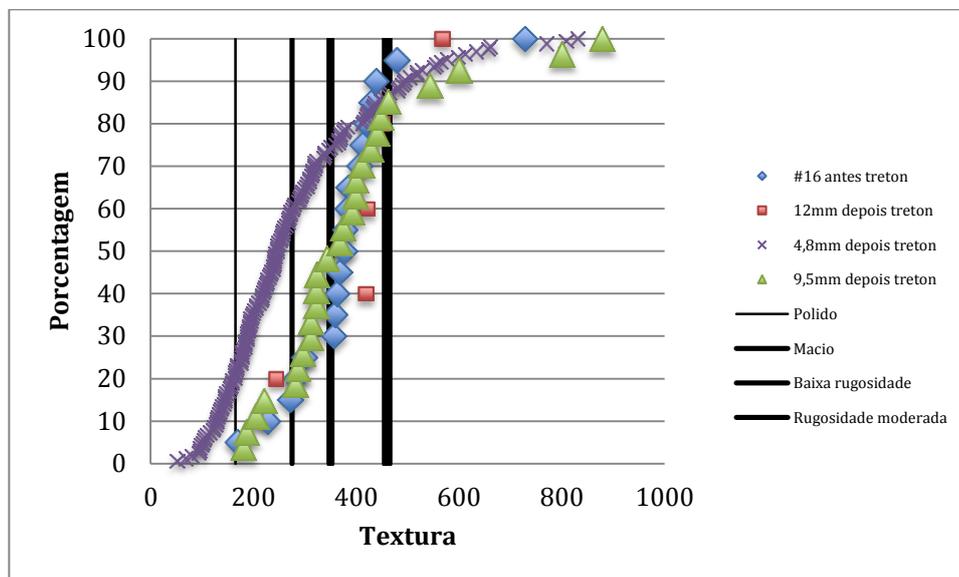


Figura 80 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedra Lafarge.

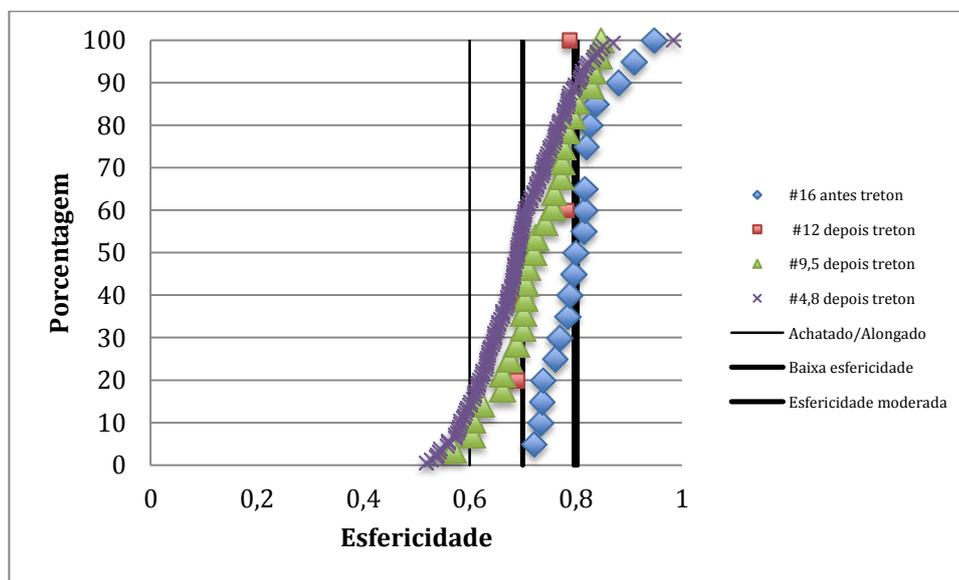


Figura 81 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 12,5mm, 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de impacto Treton no granito da pedra Lafarge.

### 5.6.3 AIMS após resistência ao esmagamento

O último ensaio de desgaste que teve seus resultados levados ao AIMS, foi a resistência ao esmagamento. Na pedreira Cispel com relação a angularidade (Figura 82), os agregados retidos na peneira 9,5 mostraram um leve desgaste, tendo uma pequena queda nos seus valores, já na peneira de 4,8mm as suas partículas se aproximaram dos valores originais, mostrando uma perda quase nula de angularidade e a fração mais fina produzida e relevante para esse ensaio (2,4mm) obteve valores de angularidade em geral maior que a inicial. Quanto à textura (Figura 83) para a Cispel, os valores foram muito próximos. Tendo pequeno decréscimo para o material gerado no ensaio que ficou retidos na peneira de 2,4mm. A figura 84 mostra a performance dos agregados segundo a esfericidade, mostrando um comportamento parecido para as duas faixas granulométricas produzidas pelo ensaio, tendo um acréscimo na esfericidade. É importante ressaltar que os resultados da análise de textura, angularidade e esfericidade para pedreira Cispel, nos três ensaios realizados, tiveram a mesma tendência de comportamento, mostrando curvas muito parecidas.

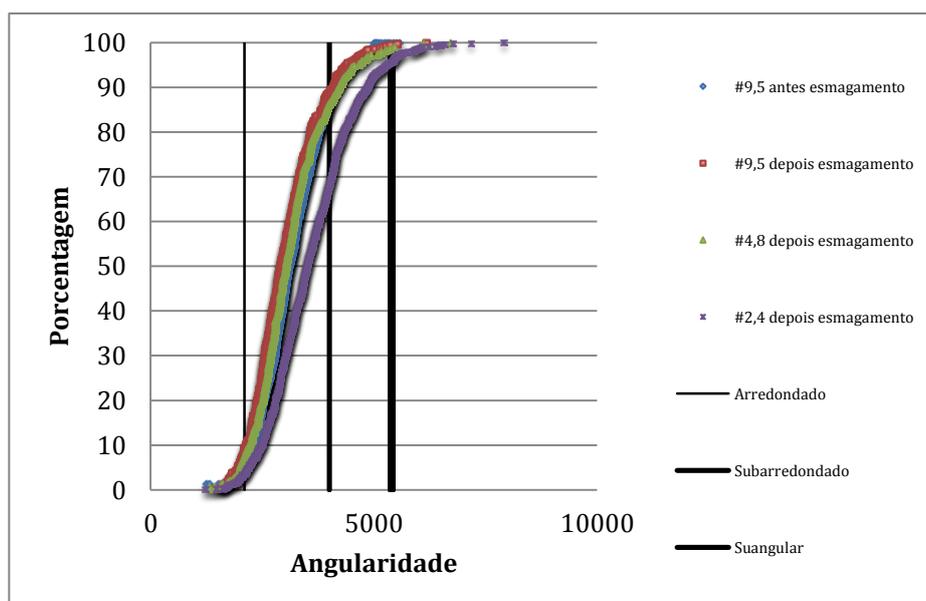


Figura 82 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaisse da pedreira Cispel.

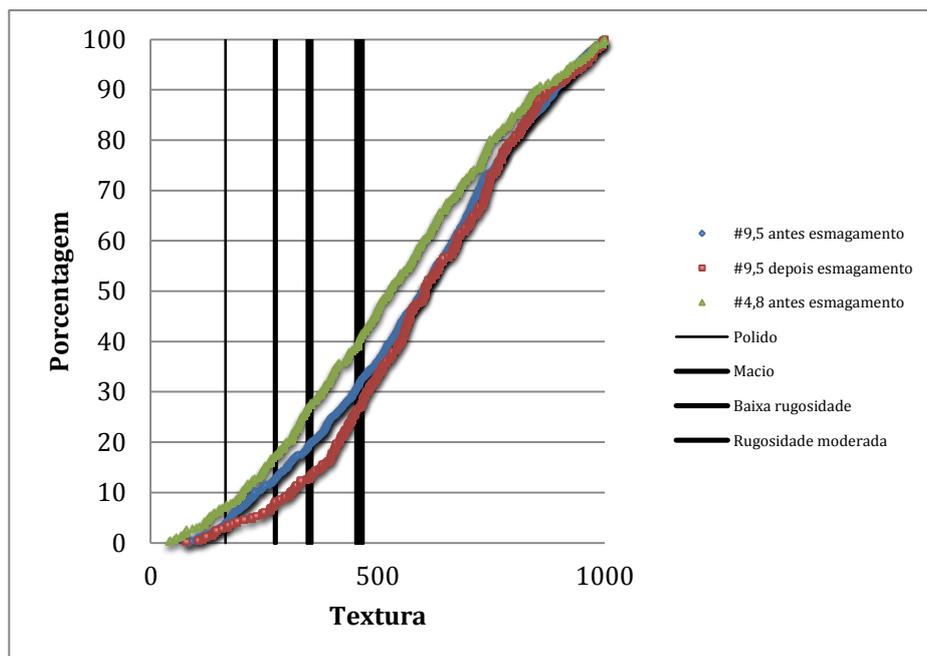


Figura 83 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtido antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaiss da pedreira Cispel.

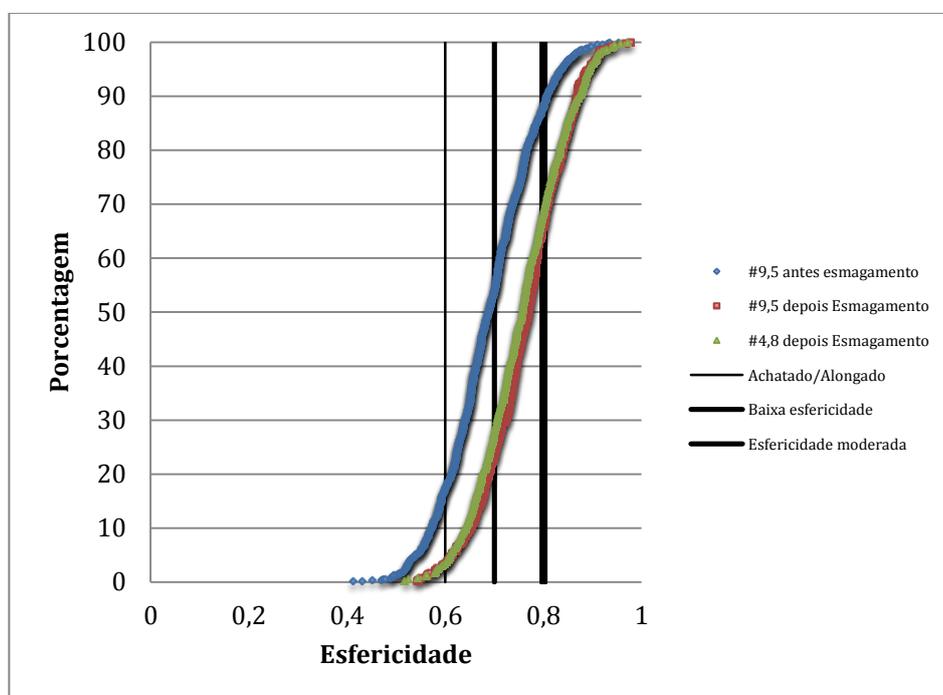


Figura 84 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtido antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no gnaiss da pedreira Cispel.

No caso dos traquitos e sienitos, da pedreira Vigné, o comportamento para a angularidade (Figura 85) foi praticamente o mesmo para todas as faixas granulométricas, registrando um pequeno aumento na angularidade para a faixa de menor tamanho (material retido na peneira 2,4mm). Em relação à textura (Figura 86), os materiais retidos em 9,5mm não apresentaram diferença em relação ao material antes do ensaio de esmagamento, já aqueles que foram retidos na peneira de 4,8mm apresentaram textura mais lisa. No quesito esfericidade, a figura 87 mostra um aumento da esfericidade para as duas faixas granulométricas geradas em relação ao agregado antes de ser submetido ao ensaio em questão.

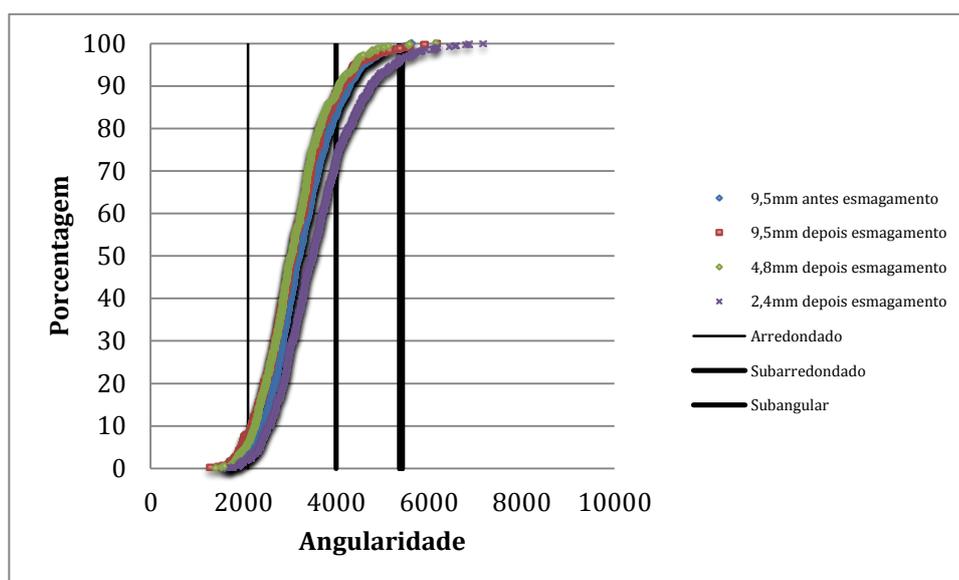


Figura 85 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedreira Vigné.

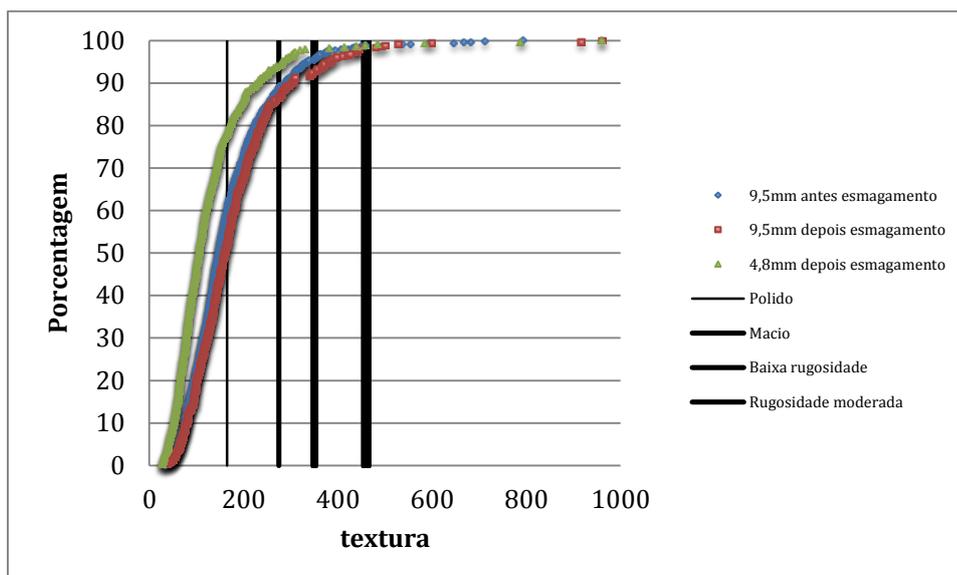


Figura 86 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedreira Vigné.

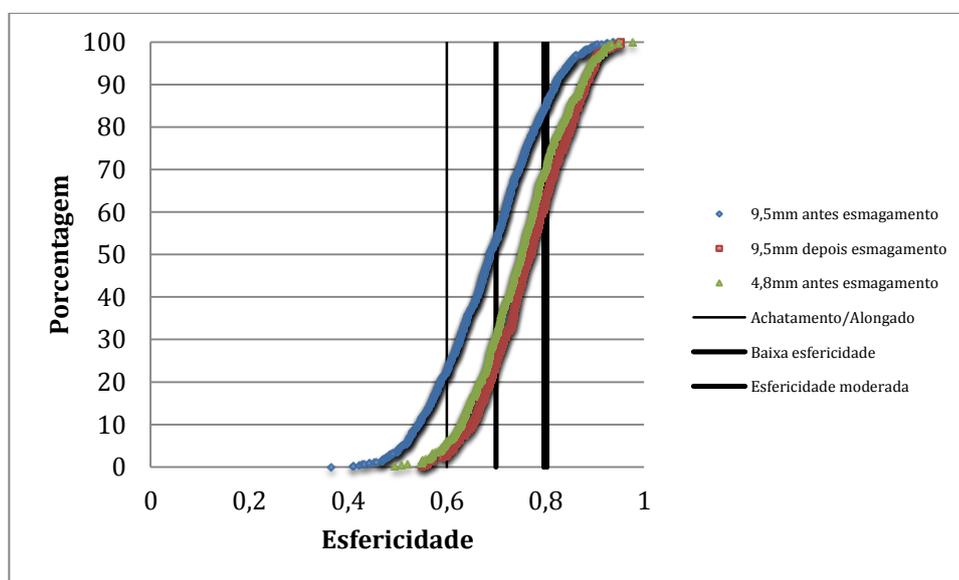


Figura 87 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no traquito/sienito da pedreira Vigné.

Nos granitos da pedreira Lafarge, em relação à angularidade, a figura 88 mostra um pequeno decréscimo no valor para o material retido na peneira de 9,5mm, na faixa granulométrica seguinte produzida pelo ensaio são percebidos valores um pouco maiores de angularidade que o material virgem, enquanto que na menor fração gerada pelo ensaio, mostra um grande acréscimo nos valores para essa propriedade em questão. Os valores de textura para a pedreira Lafarge estão representados na figura 89 que revela não ter havido alteração na maior faixa granulométrica produzida pelo esmagamento, no entanto houve um decréscimo considerável na textura do material mais fino gerado pelo ensaio. A esfericidade para essa pedreira é representada pela figura 90 e demonstra uma tendência de comportamento das duas faixas granulométricas medidas para esse atributo muito parecida. As duas faixas (9,5mm e 4,8mm) apresentaram um aumento considerável na esfericidade. É importante ressaltar que como aconteceu na pedreira Cispel, os granitos da Lafarge mostraram nas suas curvas tendências muito parecidas nos três ensaios (Treton, Los Angeles e Esmagamento) em relação às propriedades de angularidade, textura e esfericidade.

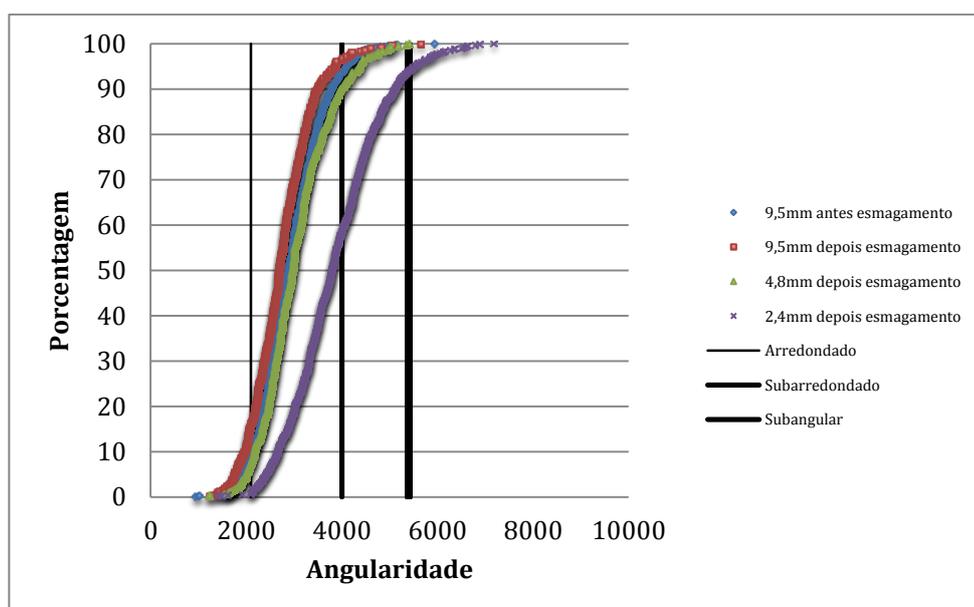


Figura 88 – Angularidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm, 4,8mm e 2,4mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedreira Lafarge.

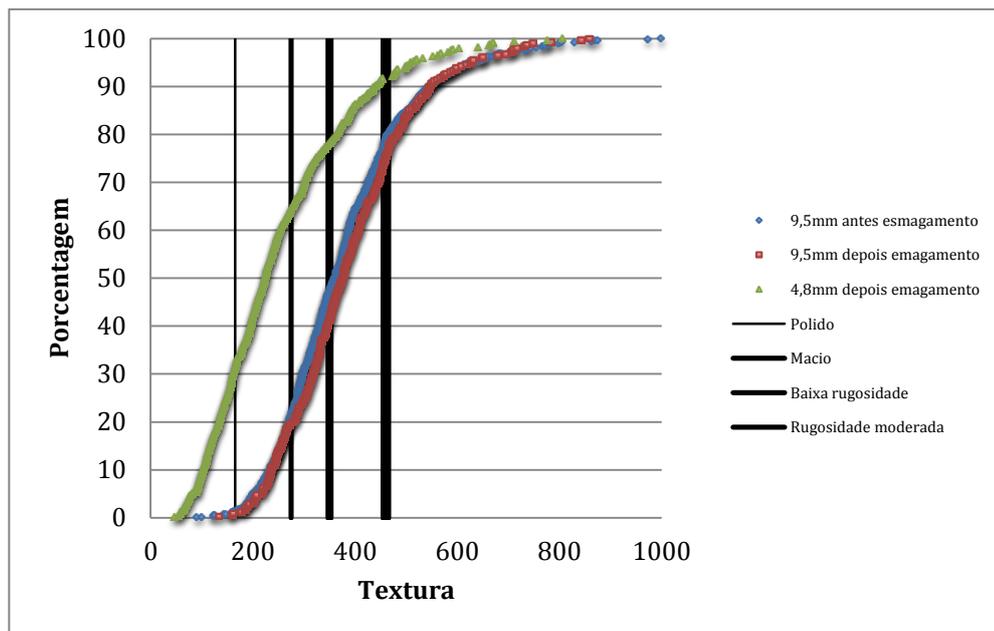


Figura 89 – Textura comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedreira Lafarge.

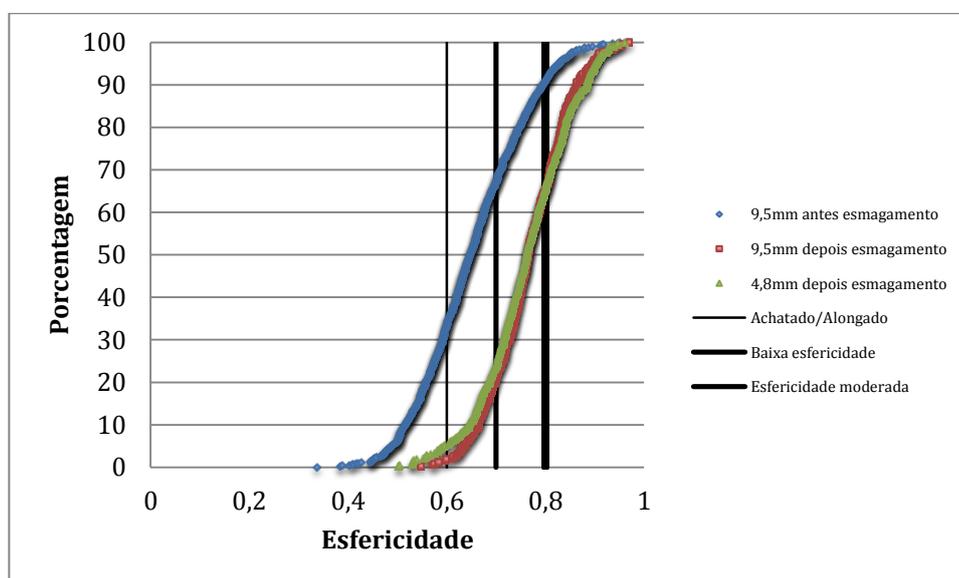


Figura 90 – Esfericidade comparativa entre o material retido em todas as peneiras (abertura 9,5mm e 4,8mm) obtidos antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento no granito da pedreira Lafarge.

#### **5.6.4 Análise global**

Como foi citado na introdução deste trabalho, o objetivo desta pesquisa foi utilizar o ensaio AIMS para observar com mais detalhe o que acontece com os agregados de vários tamanhos quanto ao desgaste e à mudança de forma dos três tipos litológicos estudados após serem submetidos aos três ensaios de resistência. Estes ensaios mecânicos têm seus resultados expressos sempre por relação de porcentagem passante “antes e depois” numa determinada peneira, com valores admissíveis muito criticados quanto à real capacidade de avaliar o desempenho dos agregados numa obra de pavimentação. Não é analisada a variação da forma final dos grãos ao longo do processo perdendo-se a chance de fazer um diagnóstico mais detalhado das características geológicas das britas. Com o surgimento de equipamentos modernos que fazem esta análise de superfície e forma de maneira rápida e automática, pretendeu-se mostrar se é possível perceber a influência da mineralogia ou de outros fatores que proporcionam melhor resistência aos agregados britados e, portanto, melhores critérios de seleção.

##### **5.6.4.1 Los Angeles**

No ensaio de abrasão Los Angeles observou-se menor desgaste para o traquito e sienito da pedra Vigné. Houve perda de massa por impacto e abrasão mais elevada ( $LA > 40\%$ ) para o granito e gnaisse das pedreiras Lafarge e Cispel respectivamente. Na distribuição granulométrica após o ensaio LA a pedra Vigné teve produção menor de finos com relevância para o ensaio (retidos na peneira 1,7mm) em relação às outras duas rochas do atual estudo, pela alta resistência da rocha. Nos traquitos e sienitos a alta resistência à abrasão e impacto vem do fato de ter uma granulometria fina e a matriz da rocha ser coberta e preenchida por carbonato devido a um processo de hidrotermalismo, que aumentaram a resistência da rocha. Como explicado por Bratti (1992), os principais fatores que influenciam na resistência da rocha é a granulometria e o volume de vazios. Quando se comparam com os resultados obtidos no AIMS, percebe-se que o comportamento dos três agregados apresentaram diferenças principalmente quanto ao agregado miúdo

produzido pelo ensaio de Los Angeles. Enquanto no traquito e sienito a angularidade dos agregados miúdos testados teve decréscimo, no granito e gnaisse esta fração apresentou valor maior que a dos agregados antes de sofrer o esforço mecânico; o granito, com a menor resistência a abrasão, apresentou a maior angularidade dos miúdos. A textura equigranular e o maior tamanho dos minerais que compõem o granito faz com que produza finos mais angulosos, e, no caso do gnaisse o comportamento foi muito parecido, porém, por não ser equigranular a angularidade dos finos foi um pouco menor. No caso dos traquitos sua granulometria fina levou a pouca quebra das arestas das partículas graúdas e, assim, produzindo os finos menos angulosos.

Nota-se redução das médias das angularidades após os ensaios de LA nas duas frações de agregados investigadas (Figura 91).

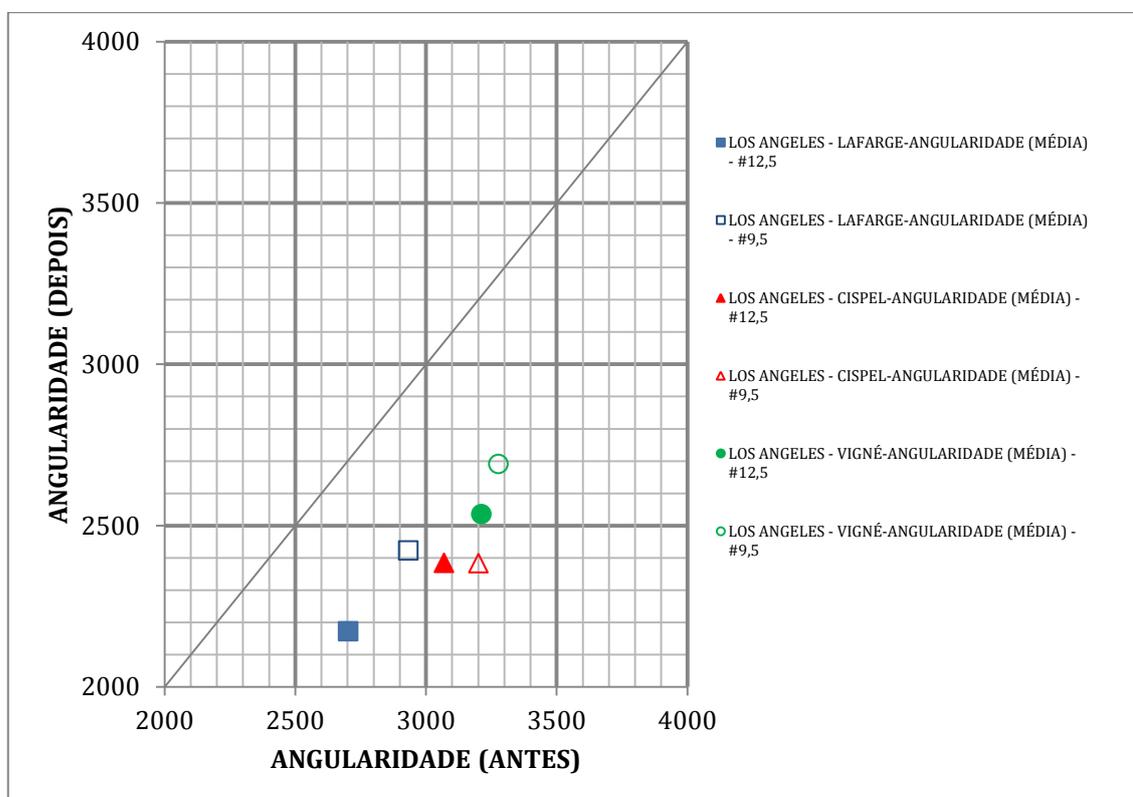


Figura 91 – Angularidade antes e depois do ensaio Los Angeles para as peneiras de 12,5mm e 9,5mm

A redução das angularidades médias é bastante expressiva para todos os agregados, entre 17% e 25%, conforme ilustra a figura 92 e calculadas segundo a equação 9. Em ambas as frações granulométricas, a maior redução porcentual da angularidade média foi observada para o gnaisse da Pedreira CISPEL.

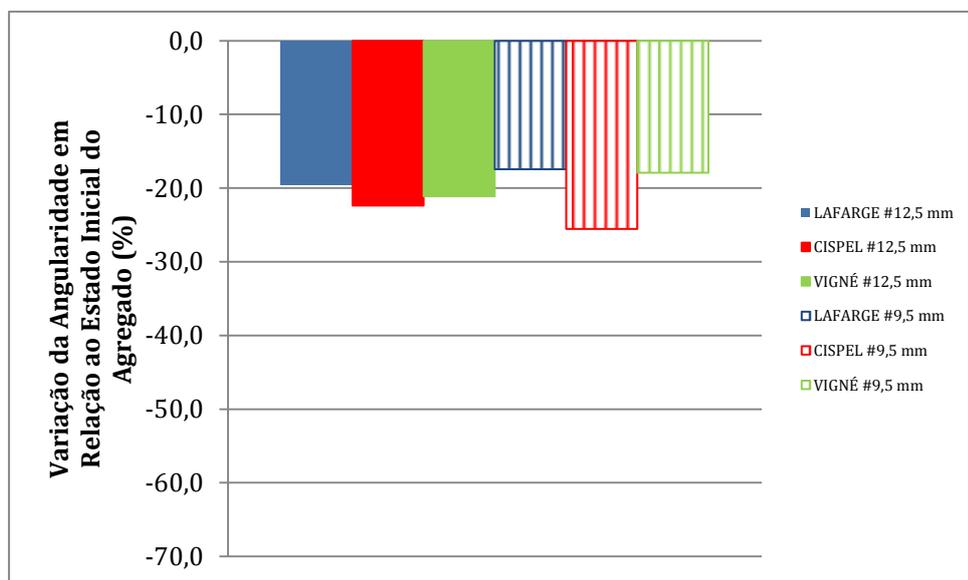


Figura 92 – Variação da angularidade em relação ao estado inicial do agregado – ensaio Los Angeles

$$\text{VARIAC\~{O} DA M\acute{E}DIA} = \frac{(\text{PAR\^{\text{A}}METRO DEPOIS} - \text{PAR\^{\text{A}}METRO ANTES})}{\text{PAR\^{\text{A}}METRO ANTES}} \times 100 \quad (9)$$

Os agregados submetidos à abrasão e também a impactos, segundo o método Los Angeles, tendem a apresentar uma expressiva redução porcentual da angularidade média, entre 17% e 25%, para todos os tipos litológicos que constituem os agregados estudados.

A redução da esfericidade média foi sempre maior nos gnaisses da Pedreira Cispel que também obteve os menores resultados de angularidade média comparando as três pedreiras estudadas, sendo assim a maior perda da angularidade está ligada a menor resistência do gnaisse em relação as pedreiras Lafarge e Vigné.

O aumento observado para o coeficiente de variação (figura 93) atesta que as amostras de agregados tendem a se tornar mais heterogêneas com relação ao parâmetro angularidade após os ensaios de abrasão LA, isso acontece devido aos

diferentes tamanhos de grãos formados devido a quebra das partículas maiores que o ensaio proporciona dando uma variação maior de angularidade para toda faixa granulométrica.

A textura apresentada pelo ensaio de AIMS após o Los Angeles mostrou o maior valor na pedra Cispel entre as três pedreiras estudadas. Neste tipo de rocha (biotita-gnaiss) quase todas as granulometrias apresentaram valores parecidos, com exceção da faixa de 4,8mm, que obteve resultado um pouco mais lisa. No caso das pedreiras Vigné (menor valor de textura) e Lafarge o comportamento das curvas foi parecido. No caso do granito, a faixa granulométrica de 4,8mm ficou abaixo das outras testadas, e praticamente não teve alteração em comparação à amostra original. Isso acontece porque as frações menores geradas nesse ensaio são resultado da quebra dos ângulos dos agregados graúdos, assim os novos agregados formados tendem a ter uma textura mais lisa que a original. Rochas metamórficas tendem a ser mais rugosas que as ígneas, por isso os valores do gnaiss da Cispel foram maiores que o granito da Lafarge. Já os baixos valores de textura da Vigné são explicados por ser uma rocha de granulação afanítica (traquitos) e os sienitos de granulação mais fina, pois rochas com granulação mais fina tendem a produzir superfícies mais lisas.

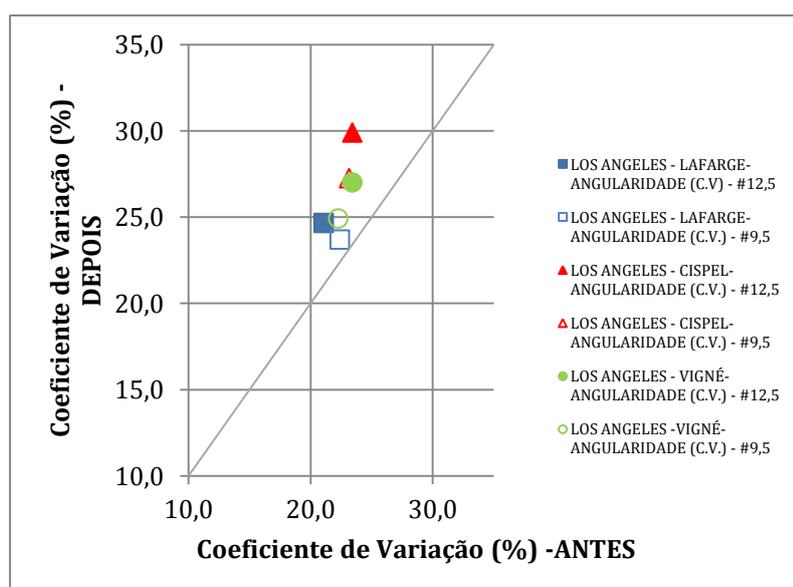


Figura 93 – Coeficiente de variação da angularidade antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles

Com relação à textura, as médias das distribuições dos agregados estudados (Figura 94) não apresentam variações muito evidentes (pontos experimentais próximos da linha de 45°). Apenas os agregados da Pedreira CISPEL mostram alguma diferenciação, com discretas reduções dos valores de textura após os ensaios de abrasão LA.

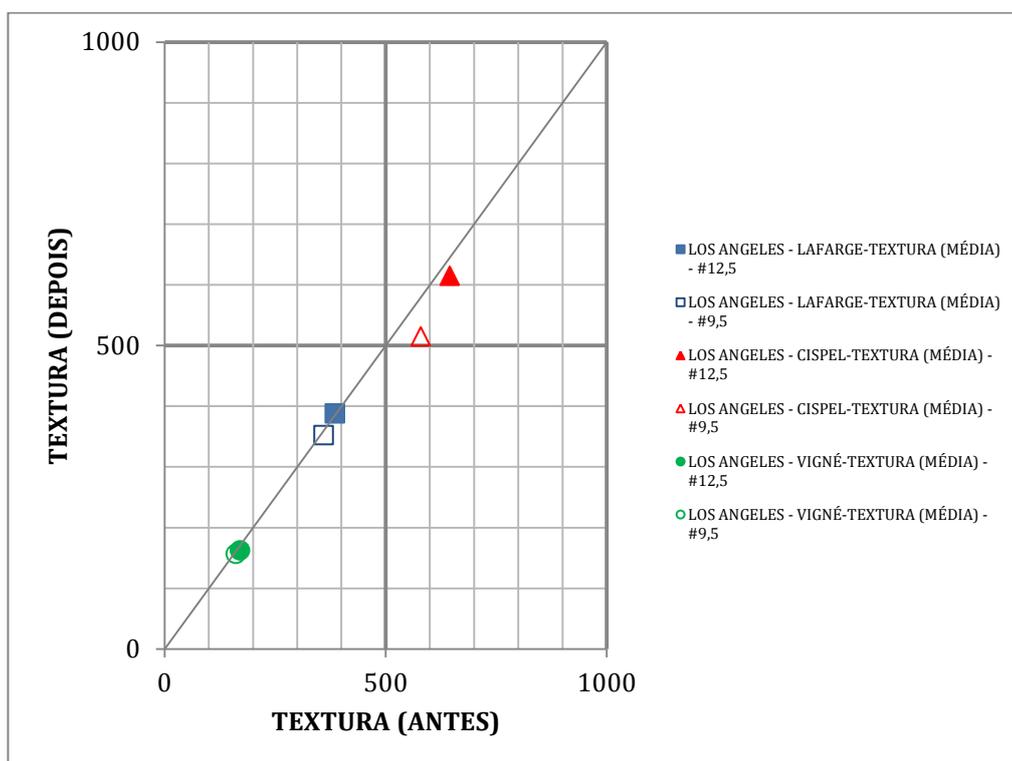


Figura 94 – Textura média antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles

A figura 95 mostra que os valores médios da textura apresentam pequena redução porcentual, entre 2% e 5%, exceção feita à fração retida na peneira de 9,5 mm (redução inferior a 10%).

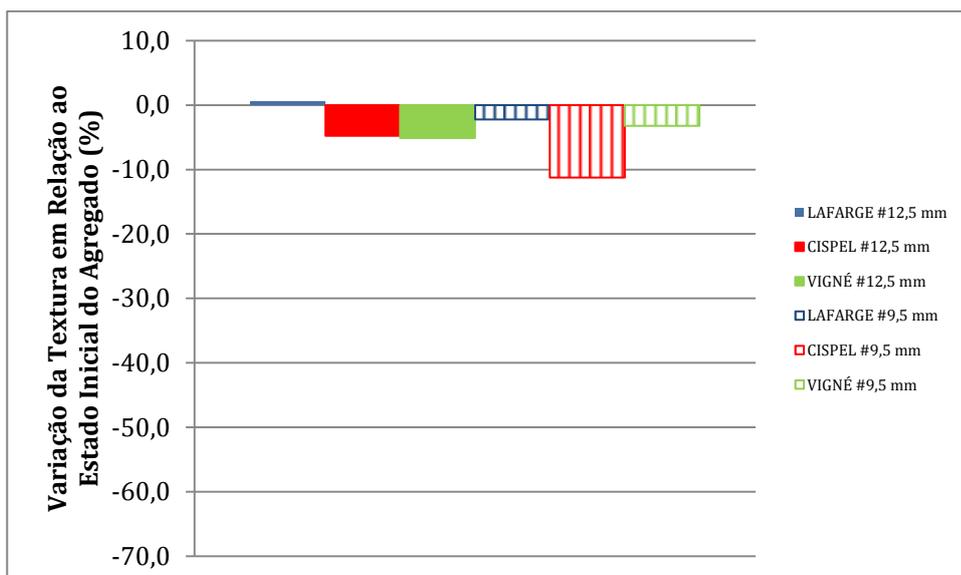


Figura 95 – variação da média da textura em relação ao estado inicial dos agregados

Os valores do coeficiente de variação (Figura 96) mostram que a maior parte dos dados apontam para maior dispersão nas texturas medidas através do aparelho AIMS antes dos ensaios de abrasão LA. Devem ser destacados os valores muito elevados dos coeficientes de variação, entre 25% e 55 %.

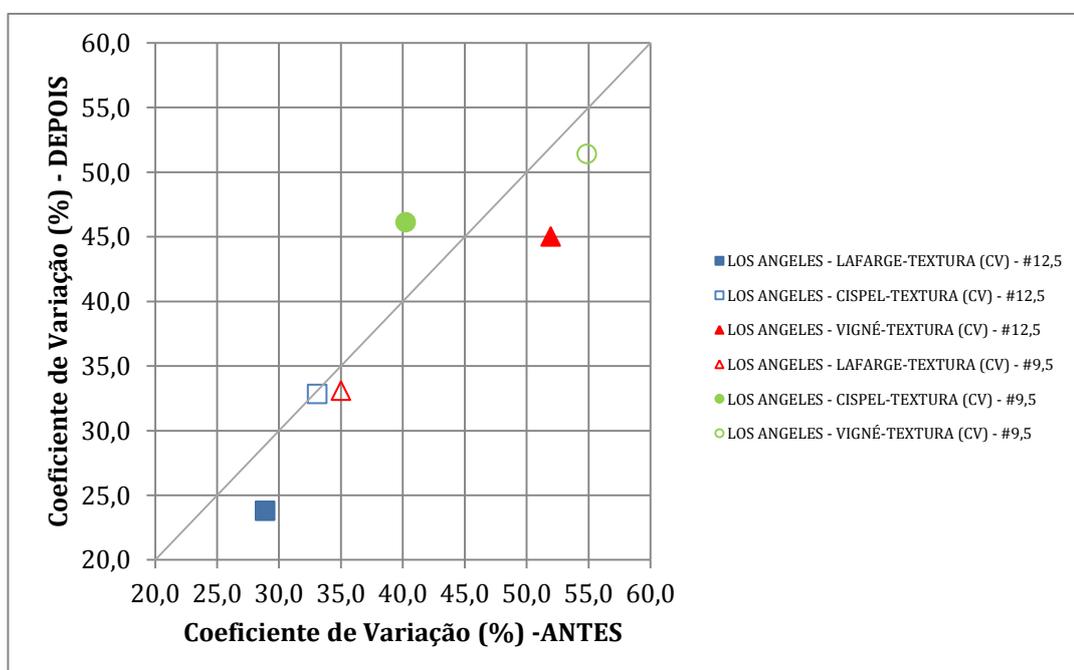


Figura 96 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles

Quanto à esfericidade o comportamento das curvas dos três tipos de rochas

estudadas foram muito parecidas: todas tiveram um aumento da esfericidade, em ordem de grandeza parecida, no granito o incremento foi pouco maior do que os outros litotipos estudados. Todas as faixas granulométricas após Los Angeles tiveram valores de esfericidade muito parecidos. Essa pequena diferença nos valores do granito se dá pela sua equigranularidade, visto que rochas mais equigranulares tendem a ter seus agregados mais esféricos. Na figura 97 nota-se o aumento da esfericidade média (pontos acima da linha de 45°) após os ensaios de abrasão LA em todas as amostras de agregados.

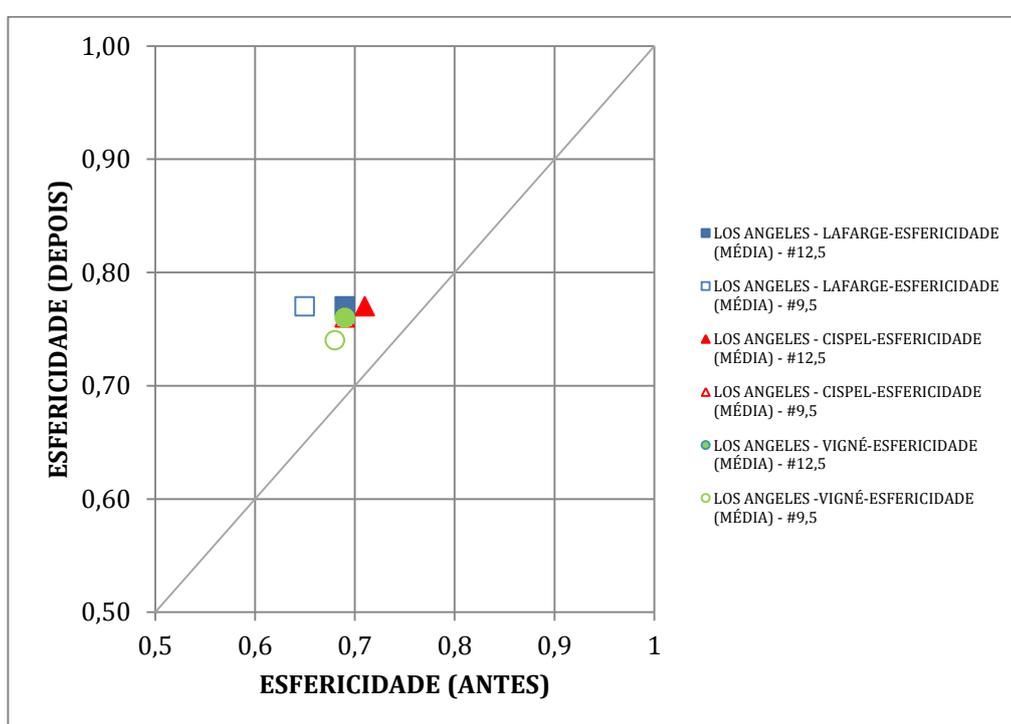


Figura 97 – Esfericidade antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles

A figura 98 mostra que as variações das médias das esfericidades foi sempre positiva (valores das médias após o ensaio são maiores do que as médias de cada amostra de agregado antes do ensaio). As variações estão aproximadamente entre 8 e 11%. Exceção feita à amostra de #9,5 mm da Vigné que apresentou variação de quase 18%.

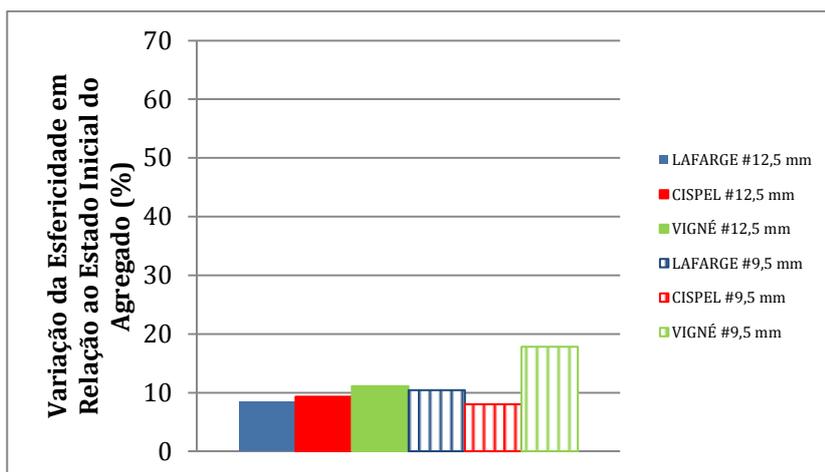


Figura 98 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado dado em %

Os coeficientes de variação das distribuições das medidas de esfericidade (figura 99), dados pela relação porcentual entre o desvio padrão e a média da distribuição, mostra que a dispersão tende a diminuir após a abrasão LA (dados experimentais abaixo da reta de 45°).

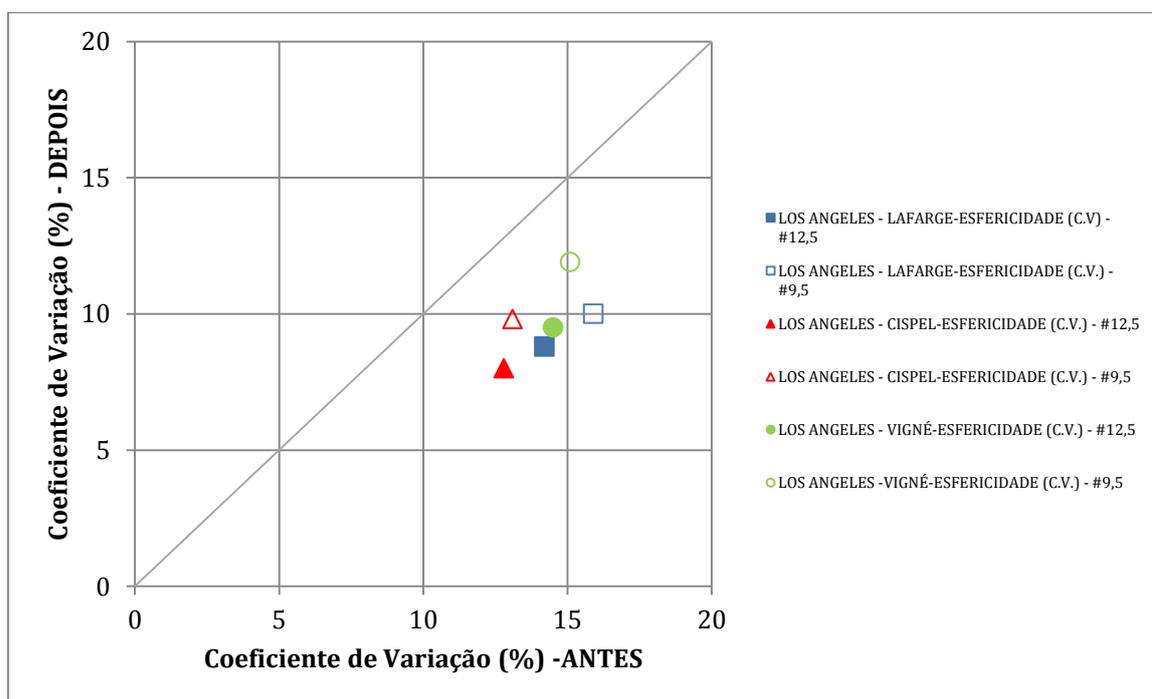


Figura 99 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio Abrasão Los Angeles

Os agregados submetidos à abrasão e também a impactos, segundo o método Los Angeles, tendem a apresentar um aumento da esfericidade média entre 8% e 11%, para todos os tipos litológicos que constituem os agregados estudados.

O aumento da esfericidade média foi sempre maior no conjunto de sienitos/traquitos/fonilitos da Pedreira Vigné juntamente com as menores médias de esfericidade.

A redução observada para o coeficiente de variação atesta que as amostras de agregados tendem a ficarem mais homogêneas com relação ao parâmetro esfericidade.

Na tabela 13 é apresentada a média dos valores de AIMS para as três propriedades das três pedreiras presentes no atual estudo para o ensaio de abrasão Los Angeles.

Tabela 13 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de abrasão Los Angeles

PEDREIRA	PARÂMETRO	RESISTÊNCIA À ABRASÃO LOS ANGELES											
		AGREGADOS RETIDOS - ABERTURA DA PENEIRA (mm)											
		12,5 (antes)		12,5 (depois)		9,5 (antes)		9,5 (depois)		4,8 (depois)		1,7 (depois)	
		MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)
CISPEL	Angularidade	3069,5 subarredondado	23,4	2383,3 subarredondado	29,9	3200,7 subarredondado	23,2	2382,9 subarredondado	27,2	2593,1 subarredondado	25,9	3306,4 subarredondado	26,2
VIGNÉ	Angularidade	3212,7 subarredondado	23,4	2534,5 subarredondado	27,0	3278,0 subarredondado	22,3	2690,4 subarredondado	24,9	2693,9 subarredondado	25,6	3392,2 subarredondado	25,4
LAFARGE	Angularidade	2702,2 subarredondado	21,1	2171,8 subarredondado	24,7	2933,0 subarredondado	22,4	2422,1 subarredondado	23,7	2683,0 subarredondado	26,6		
CISPEL	Esfericidade	0,71 esfericidade moderada	12,8	0,77 esfericidade moderada	8,0	0,69 baixa esfericidade	13,1	0,76 esfericidade moderada	9,8	0,8 alta esfericidade	10,0		
VIGNÉ	Esfericidade	0,69 baixa esfericidade	14,5	0,76 esfericidade moderada	9,5	0,68 baixa esfericidade	15,1	0,74 esfericidade moderada	11,9	0,73 esfericidade moderada	11,9		
LAFARGE	Esfericidade	0,69 baixa esfericidade	14,2	0,77 esfericidade moderada	8,8	0,65 baixa esfericidade	15,9	0,77 esfericidade moderada	10,0	0,78 esfericidade moderada	9,9		
CISPEL	Textura	645,2 alta rugosidade	33,1	614,4 alta rugosidade	32,8	579,7 alta rugosidade	40,2	514,5 alta rugosidade	46,1	431,2 rugosidade moderada	55,9		
VIGNÉ	Textura	170,9 macio	52,0	162,2 polido	45,0	161,7 polido	54,9	156,4 polido	51,4	100,2 polido	96,7		
LAFARGE	Textura	385,8 rugosidade moderada	28,9	388,0 rugosidade moderada	23,8	360,3 rugosidade moderada	35,0	352,2 rugosidade moderada	33,1	261,9 macio	53,6		

#### 5.6.4.2 Treton

No trabalho atual, os resultados absolutos do ensaio de impacto Treton seguiram a mesma tendência quanto à comparação entre materiais: a melhor foi o traquito/sienito da pedreira Vigné e o pior foi do granito da pedreira Lafarge. Porém, os valores não foram tão diferentes entre o menor valor (12,2%) e maior (18,9%) em relação à perda de massa. Isso é explicado principalmente devido ao tipo de esforço: menor agressividade do ensaio de impacto Treton em relação ao de abrasão Los Angeles, fazendo com que a perda por impacto do soquete seja menor. Em relação à quantidade de finos gerados houve diferença em relação ao Los Angeles: a Lafarge teve a mesma quantidade de finos que a Vigné, resultado anômalo porque mesmo tendo baixa quantidade de finos produzida com relevância para o ensaio (retidos na peneira 1,7mm) foi a que apresentou mais perda por impacto.

Em relação ao AIMS a pouca quantidade de amostra gerada após o ensaio, proporcionou gráficos pobres, porém com quantidade ainda suficiente para serem produzidas as análises necessárias propostas por essa pesquisa.

Com relação à angularidade todas as rochas apresentaram um comportamento muito parecido, apontando um crescimento da angularidade com a diminuição das faixas granulométricas. A figura 100 mostra o ganho de angularidade depois do ensaio de impacto Treton. Isso acontece porque as menores partículas são geradas de quebras das partículas maiores e, assim, os novos agregados gerados tendem a ser mais angulosos. Entre as três rochas estudadas a que apresentou o maior valor de angularidade para esse ensaio foi a pedreira Lafarge.

A figura 101 mostra que as variações das médias das angularidades foi sempre positiva (valores das médias após o ensaio são maiores do que as médias de cada amostra de agregado antes do ensaio). As variações são de 4,5 a 20,49% para todas as pedreiras passando nas peneiras 12,5mm até 4,8mm sendo que Lafarge na peneira 4,8mm mostrando um resultado de 39,24%; na peneira 1,7mm vê-se uma variação maior que as outras peneiras sendo para o granito da pedreira Lafarge chegando a 68,25%

A diminuição observada para o coeficiente de variação (figura 102) evidencia que as amostras de agregados tendem a se tornar mais homogêneas com relação ao parâmetro angularidade, tendo ainda valores muito próximos do material antes de ser submetido ao esforço de impacto pelo aparelho Treton com algumas exceções como no caso do material da pedraira Lafarge e a peneira de 9,5mm da pedraira Vigné.

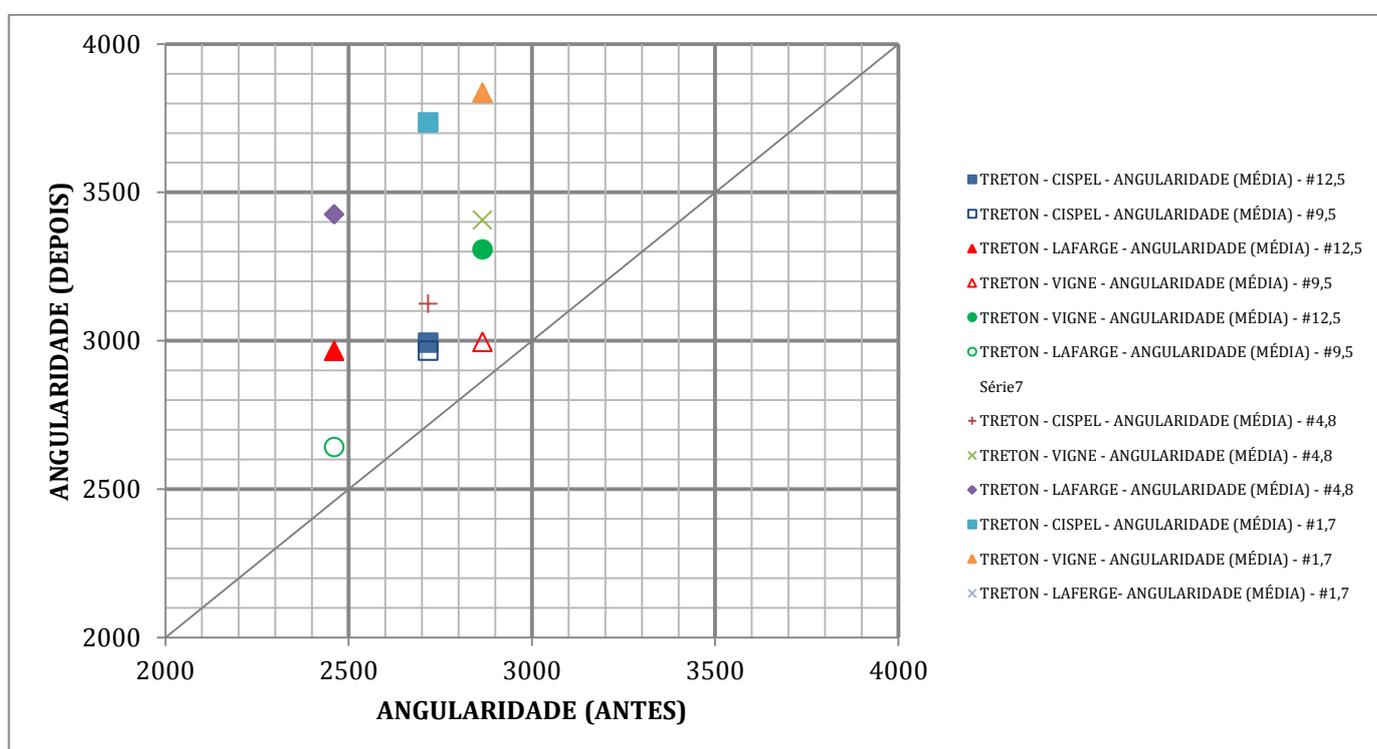


Figura 100 – Angularidade antes e depois do ensaio Impacto Treton

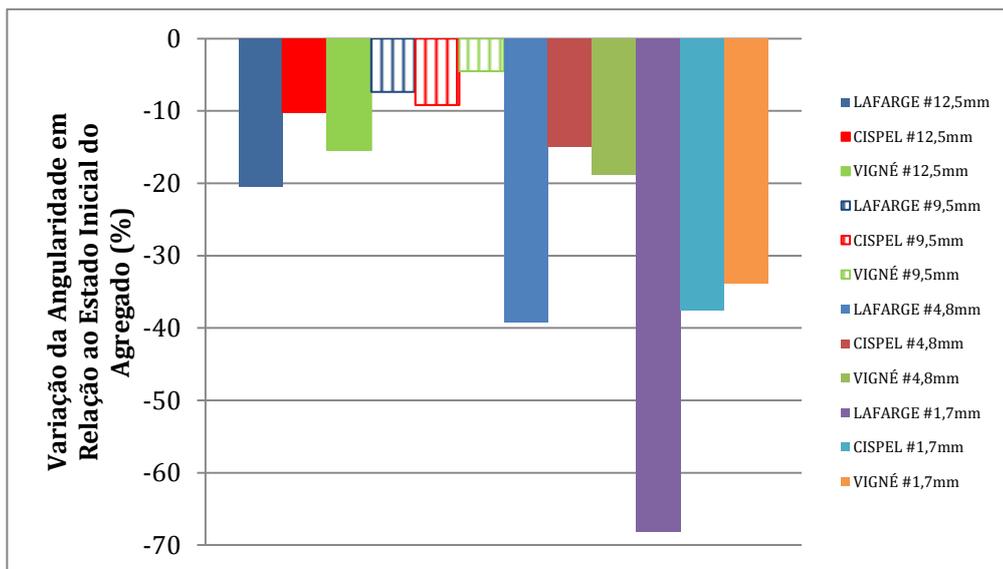


Figura 101 - Variação da angularidade em relação ao estado inicial do agregado dado em %

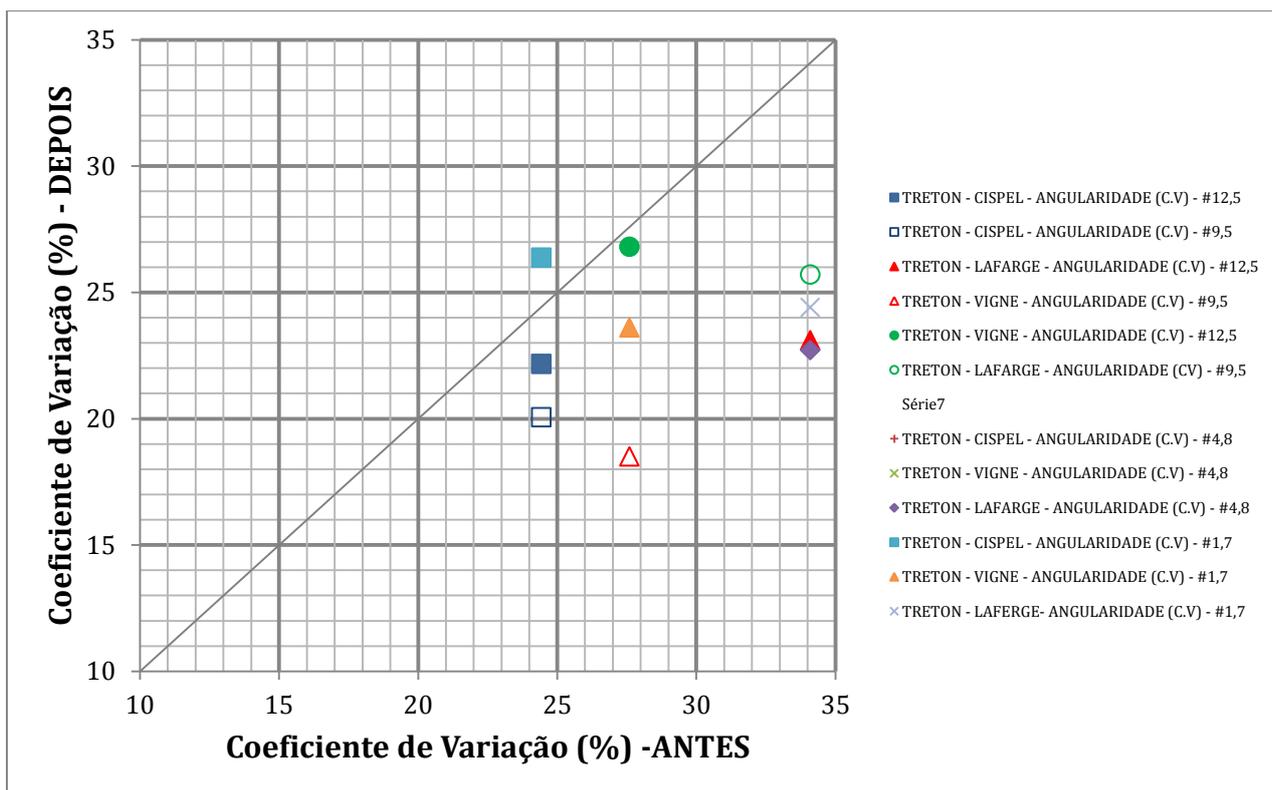


Figura 102 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio impacto Treton

O comportamento para textura foi o mesmo do Los Angeles, com as mesmas tendências de curvas e valores, sendo o gnaiss da Cispel a rocha mais rugosa e o traquito e sienito da Vigné o mais liso.

É importante salientar que praticamente não teve mudança nos valores da textura antes e depois do ensaio como é mostrado pela figura 103, tendo os pontos de comparação muito próximos da reta de 45°.

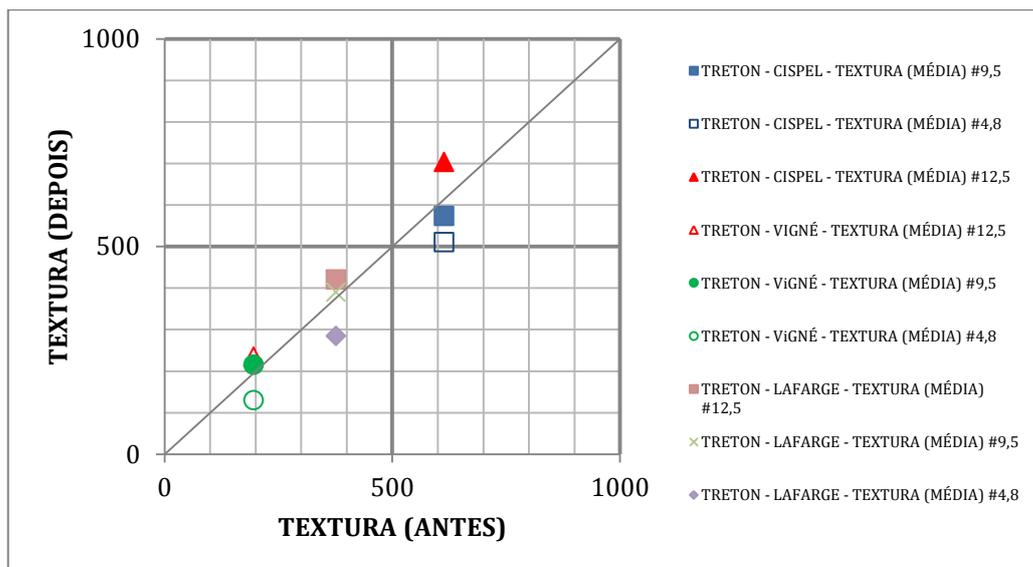


Figura 103 – Textura antes e depois do ensaio de impacto Treton

Quando se analisa a variação da textura com o estado inicial (figura 104) vê-se que, para a peneira de 4,8mm todos os materiais tendem a ser mais lisos que o material original, enquanto que nas outras peneiras ocorreu acréscimo na rugosidade variando de 3% a 20%, sendo os maiores acréscimos na peneira de 12,5mm. A única exceção é para a peneira de 9,5mm dos gnaisses da pedreira Cispel, que obteve um decréscimo médio de 6,6%.

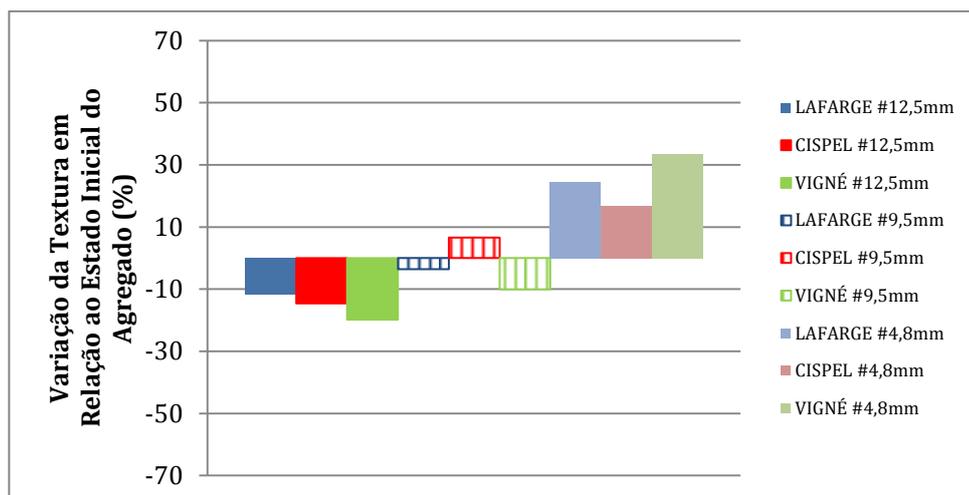


Figura 104 - Variação da Textura em Relação ao Estado Inicial do Agregado dado em porcentagem

Quando se analisa o coeficiente de variação dessas amostras para a textura após o impacto Treton (figura 105) percebe-se que existe enorme variação dos resultados, chegando em até 60% mostrando que é mais coerente fazer uma representação distribuição cumulativa (figuras 46 ao 90)

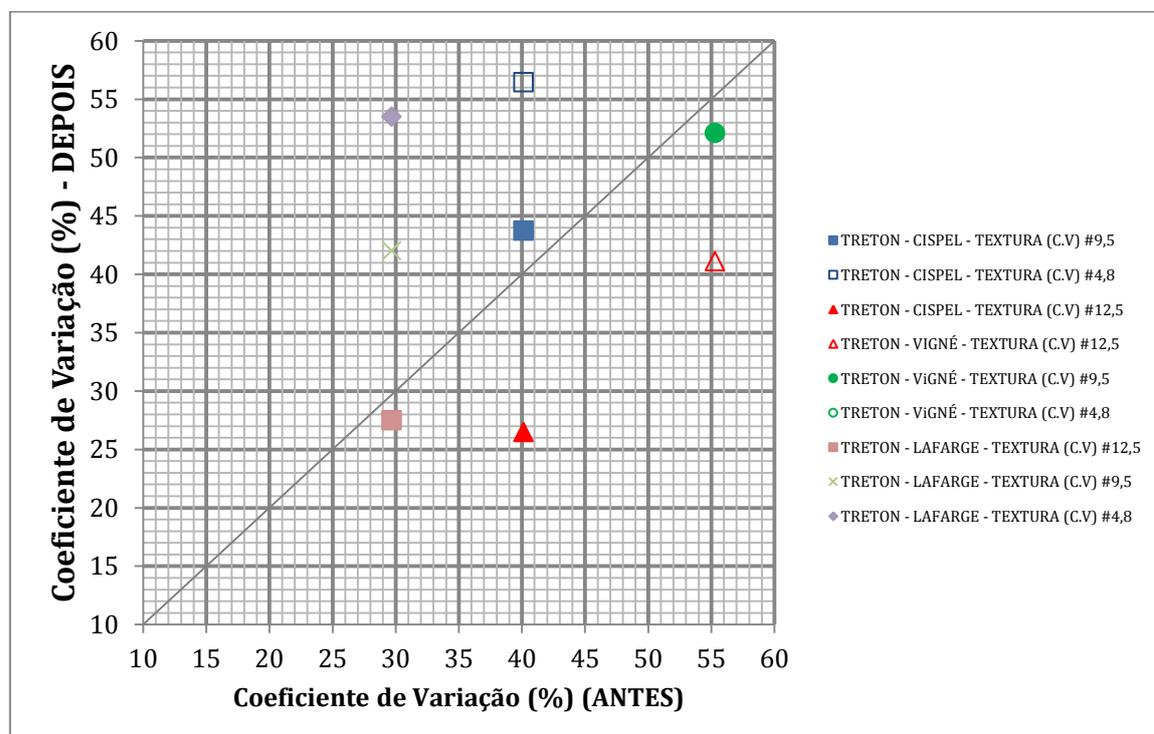


Figura 105 – Coeficiente de Variação antes e depois do ensaio de impacto Treton

A esfericidade apresentada por esse ensaio mostrou diferença de comportamento nas três rochas estudadas, no gnaiss da pedra Cispel não houve

praticamente alteração dos resultados mostrando curvas parecidas. No traquito e sienito da pedra Vigné o comportamento diferiu principalmente para a fração mais fina (retida na peneira 4,8mm) que apresentou diminuição no valor de esfericidade. Na pedra Lafarge houve diminuição dos valores à medida que diminuía o tamanho dos agregados.

Quando se analisam os valores médios de esfericidade (Figura 106) vê-se que o granito da Lafarge tinha o maior valor médio inicial apresentando perda de esfericidade para todas as peneiras sendo as de menor graduação (4,8mm) com maiores perdas. Acontece o inverso para o gnaisse da Cispel que tinha o menor valor de esfericidade inicial e apresentou um aumento desse atributo para todas as peneiras, sendo que as retidas na peneira 4,8mm apresentam um menor ganho de esfericidade que as de 12,5mm. Nos traquitos e sienitos da pedra Vigné houve variação de comportamento: na peneira de 12,5mm ocorre um acréscimo na esfericidade, enquanto que nas peneiras de 9,5mm e 4,8mm os agregados se tornam menos esféricos, variações atestadas na figura 107.

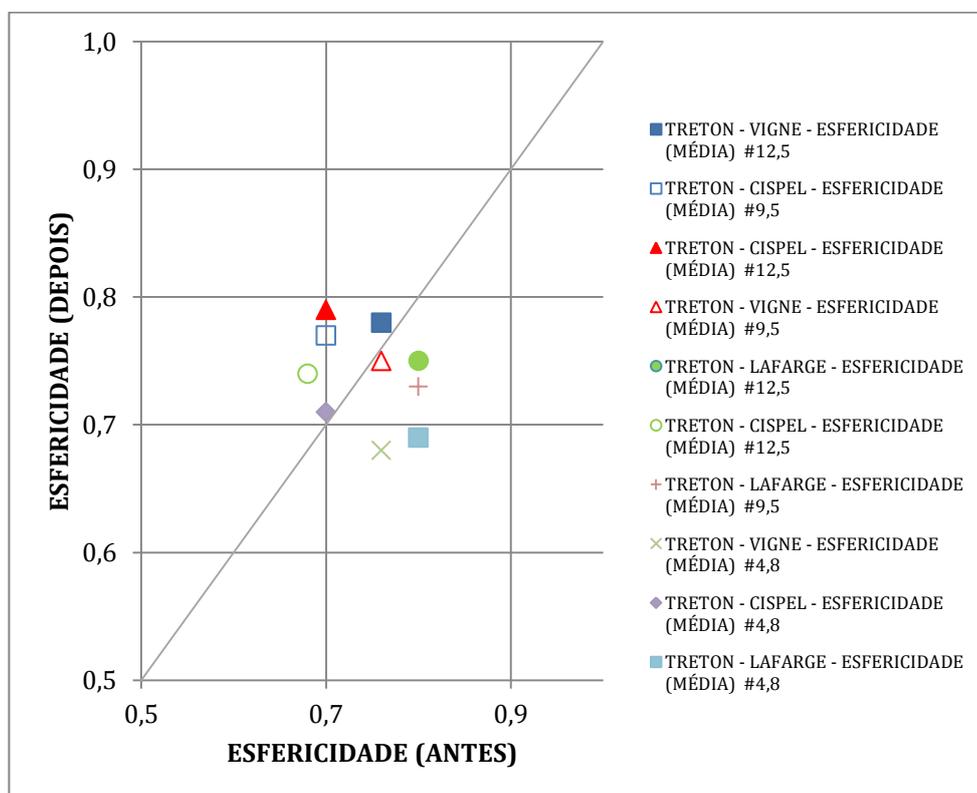


Figura 106 - Esfericidade média antes e depois do ensaio impacto Treton

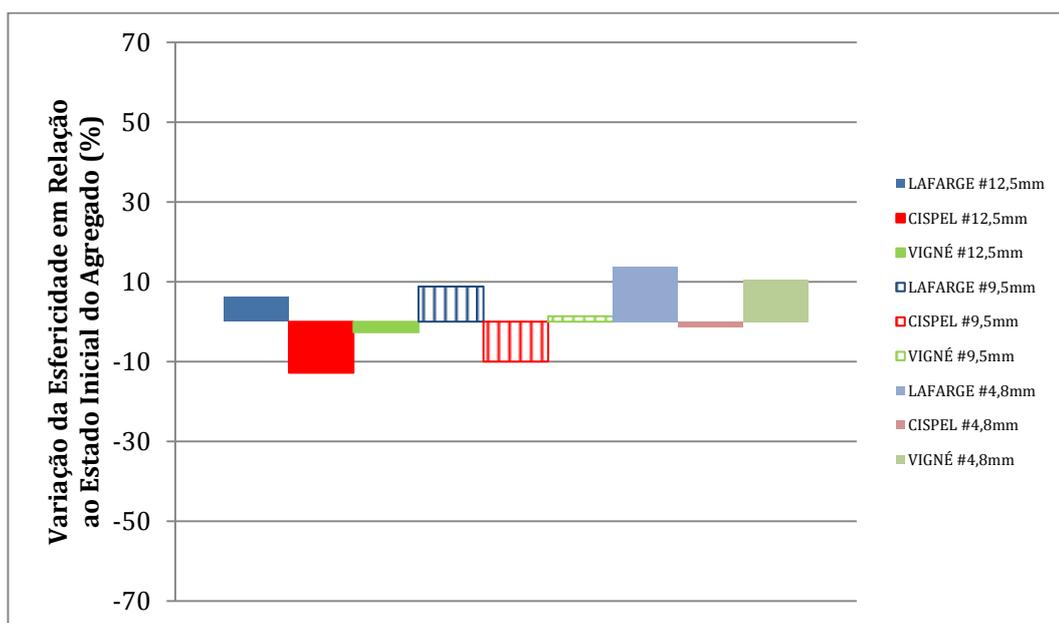


Figura 107 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado em porcentagem

Em relação à variação dos dados de esfericidade (figura 108), percebe-se uma baixa dispersão, sendo o maior coeficiente de variação igual a 13,2% mostrando que o material produzido é homogêneo em relação à esfericidade.

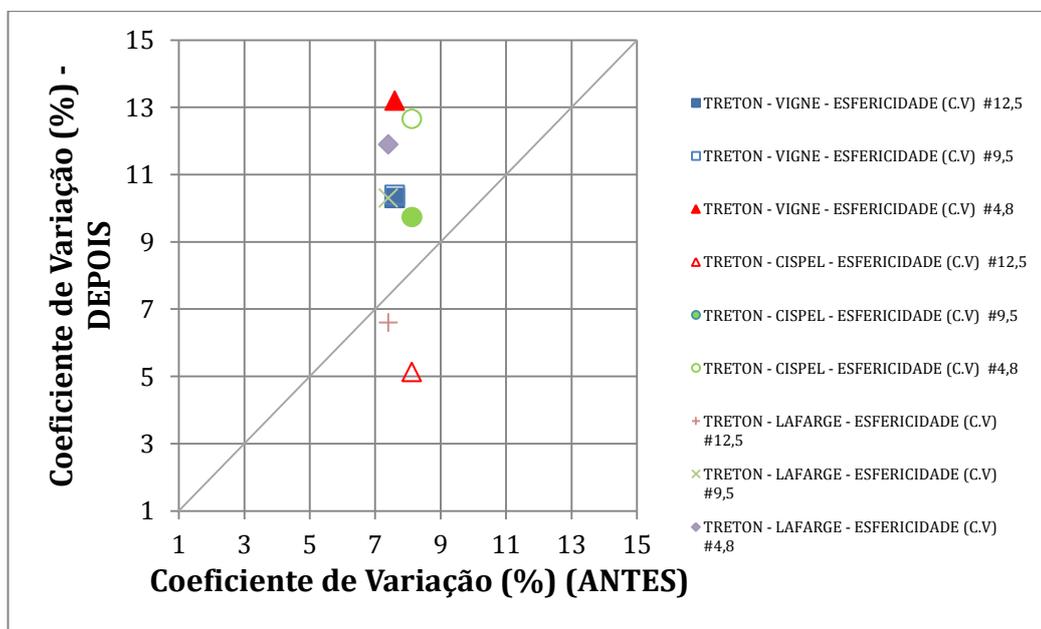


Figura 108 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio impacto Treton

Na tabela 14 é apresentada a média dos valores de AIMS para as três propriedades das três pedreiras presentes no atual estudo para o ensaio impacto Treton

Tabela 14 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de impacto Treton

PEDREIRA	PARÂMETRO	Impacto Treton									
		AGREGADOS RETIDOS - ABERTURA DA PENEIRA (mm)									
		16 (antes)		12,5 (depois)		9,5 (depois)		4,8 (depois)		1,7 (depois)	
		MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)
CISPEL	Angularidade	2716,6 subarredondado	24,4	2993,0 subarredondado	22,2	2966,6 subarredondado	20,1	3124,8 subarredondado	20,1	3735,8 subarredondado	26,4
VIGNÉ	Angularidade	2865,5 subarredondado	27,6	3307 subarredondado	26,8	2995,2 subarredondado	18,5	3406,1 subarredondado	25,3	3836 subarredondado	23,6
LAFARGE	Angularidade	2460,5 subarredondado	34,1	2964,9 subarredondado	23,1	2641,7 subarredondado	25,7	3426,1 subarredondado	22,7	4139,3 subangular	24,4
CISPEL	Esfericidade	0,7 esfericidade moderada	8,12	0,79 esfericidade moderada	5,13	0,77 esfericidade moderada	9,74	0,71 esfericidade moderada	12,66		
VIGNÉ	Esfericidade	0,76 esfericidade moderada	7,6	0,78 esfericidade moderada	10,3	0,75 esfericidade moderada	10,4	0,68 baixa esfericidade	13,2		
LAFARGE	Esfericidade	0,8 alta esfericidade	7,4	0,74 esfericidade moderada	6,6	0,73 esfericidade moderada	10,3	0,69 baixa esfericidade	11,9		
CISPEL	Textura	613,9 alta rugosidade	40,14	703,4 alta rugosidade	26,49	573,3 alta rugosidade	43,73	510,3 alta rugosidade	56,46		
VIGNÉ	Textura	195,9 macio	55,3	234,7 macio	41,1	215,6 macio	52,1	130,4 polido	60,9		
LAFARGE	Textura	376,4 rugosidade moderada	29,7	420,5 rugosidade moderada	27,5	390 rugosidade moderada	41,9	284,2 macio	53,5		

### 5.6.4.3 Esmagamento

No ensaio de resistência ao esmagamento a ordem de melhores resultados manteve-se com o traquito e sienito da pedra Vigné com os melhores resultados e importante diferença para a pedra Lafarge, que obteve o pior resultado, diferença parecida entre eles obtida no ensaio Los Angeles. Mais uma vez, como nos outros ensaios, os resultados da pedra Lafarge e Cispel ficaram muito próximos. A análise da granulometria mostrou que todas as rochas testadas produziram praticamente a mesma quantidade de finos relevantes para o ensaio (retidos na peneira de 2,4mm e passantes na de 4,8mm) tendo o gnaiss uma leve diferença, produzindo um pouco mais de finos.

Quando testado no AIMS os agregados tiveram um comportamento diferente

dos apresentados nos outros ensaios mecânicos: na angularidade só o agregado miúdo teve alteração em relação ao agregado original, apresentando aumento na angularidade média, os maiores valores foram notados no granito e menores pelo traquito e sienito. Isso se relaciona à alta resistência do material retirado da pedreira Vigné, que dificulta a quebra das suas arestas e menor quantidade de finos produzidos sendo esta menos angulosa que as outras duas rochas. O inverso vale para o granito retirado da pedreira Lafarge que obteve as maiores perdas de massa por esmagamento (maior produção de finos totais) e maior angularidade nos seus agregados miúdos relevantes (retidos na peneira 2,4mm).

Quando se compara a média dos valores de angularidade (figura 109) os pontos de antes e depois do ensaio de esmagamento em sua maioria estão nas proximidades da reta de 45° mostrando que não ocorreu muita modificação desse atributo nos agregados testados, com exceção das partículas retidas na peneira de 1,7mm que tiveram uma variação de até 31,5% (figura 110), chegando a uma variação máxima de 5,7%.

Em relação ao coeficiente de variação da angularidade (figura 111) das amostras submetidas ao ensaio de resistência ao esmagamento, existe um leve aumento dos seus valores, porém a diferença para a inicial não passa de 3%

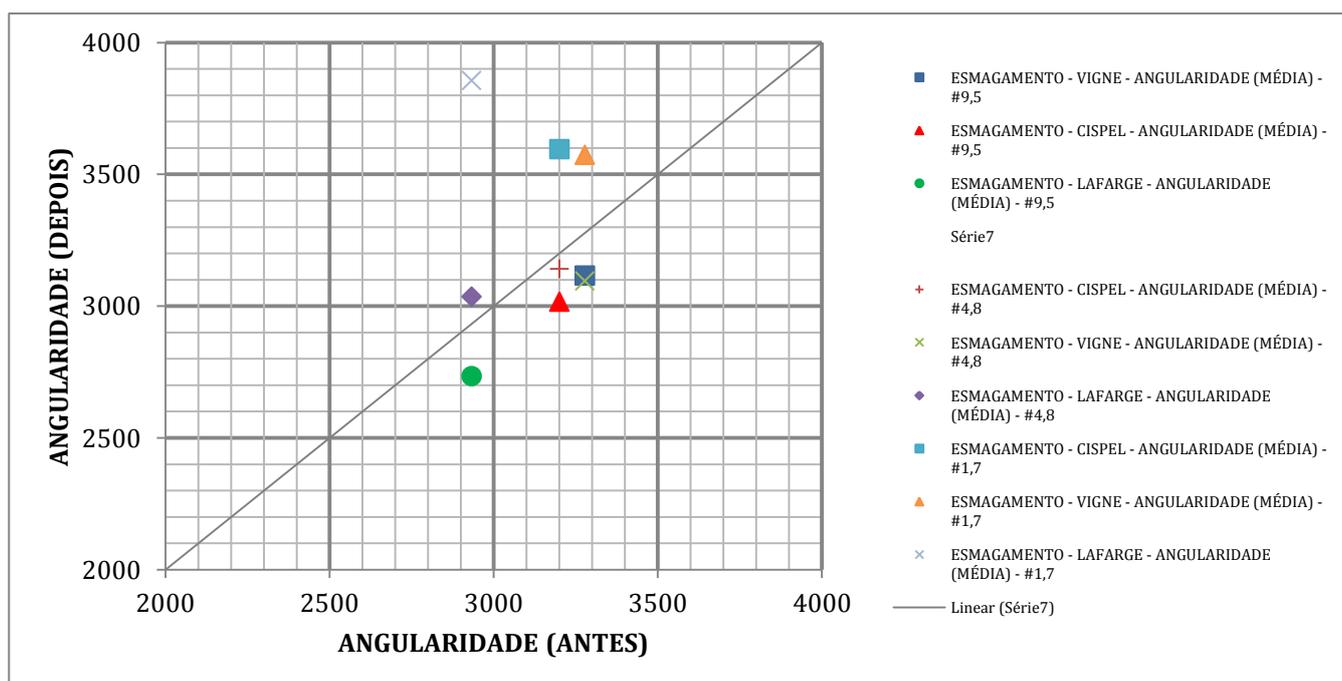


Figura 109 - Angularidade medida antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento

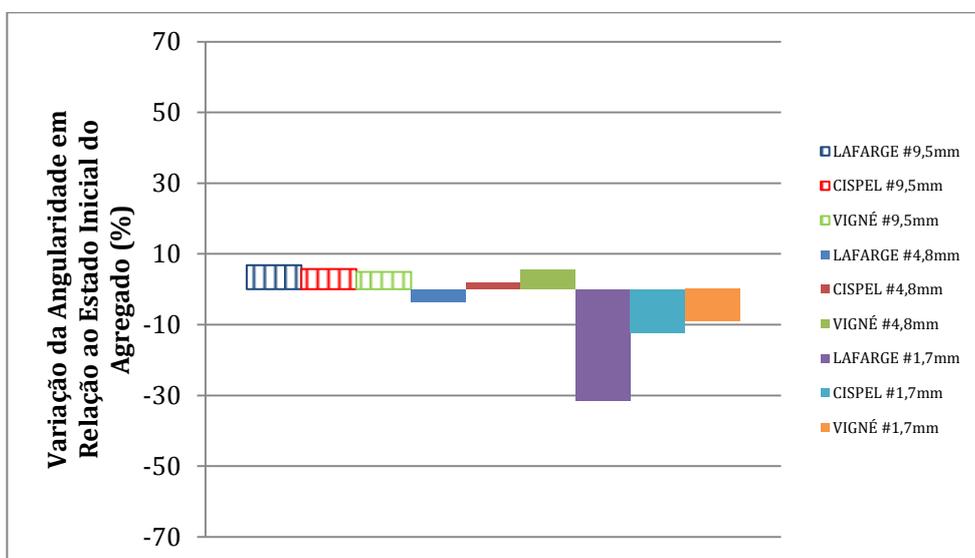


Figura 110 – Variação da angularidade em relação ao estado inicial do agregado

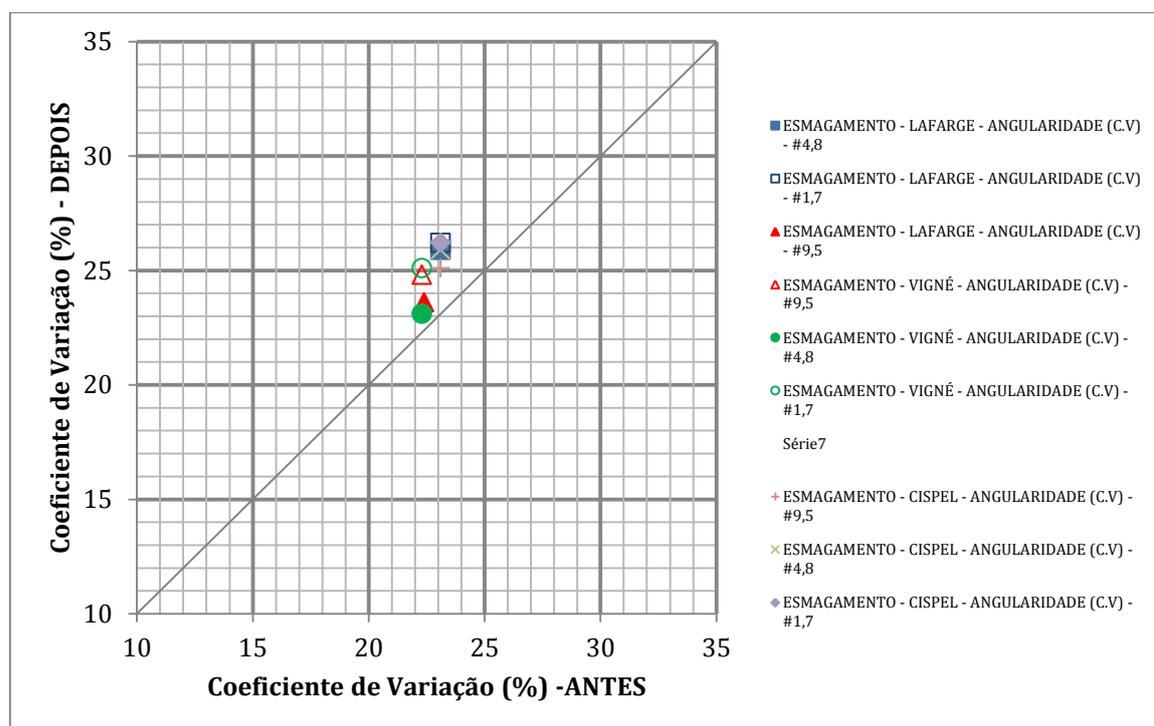


Figura 111 – Coeficiente de variação antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento

A textura apresentou o mesmo comportamento observado nos dois ensaios anteriores (Figura 112) mostrando os pontos bem próximos da linha de 45°. Nos agregados retidos na peneira 9,5mm houve um aumento da rugosidade se

destacando os traquitos e sienitos da pedraira Vigné que obtiveram a maior diferença entre o antes e depois do ensaio de esmagamento em relação à textura (Figura 113), porém foi o mais liso, tendo o gnaissse da cispel como o mais rugoso. No caso dos agregados retidos na peneira de 4,8mm houve uma diminuição dos seus valores, sendo maior nos granitos da Lafarge (33%) e menor no gnaissse (9%). Acontece isso devido ao tipo de esforço por carga estática sofrido neste ensaio, fazendo com que as maiores partículas (de mesmo tamanho das originais do ensaio) tivessem mais quebras superficiais deixando o agregado com aspecto mais rugoso, enquanto que os novos pedaços formados por essa quebra tendem a ser mais lisos. No entanto é preciso considerar que o coeficiente de variação de cada média retirada desses atributos para cada rocha é elevada como demonstrada na figura 114.

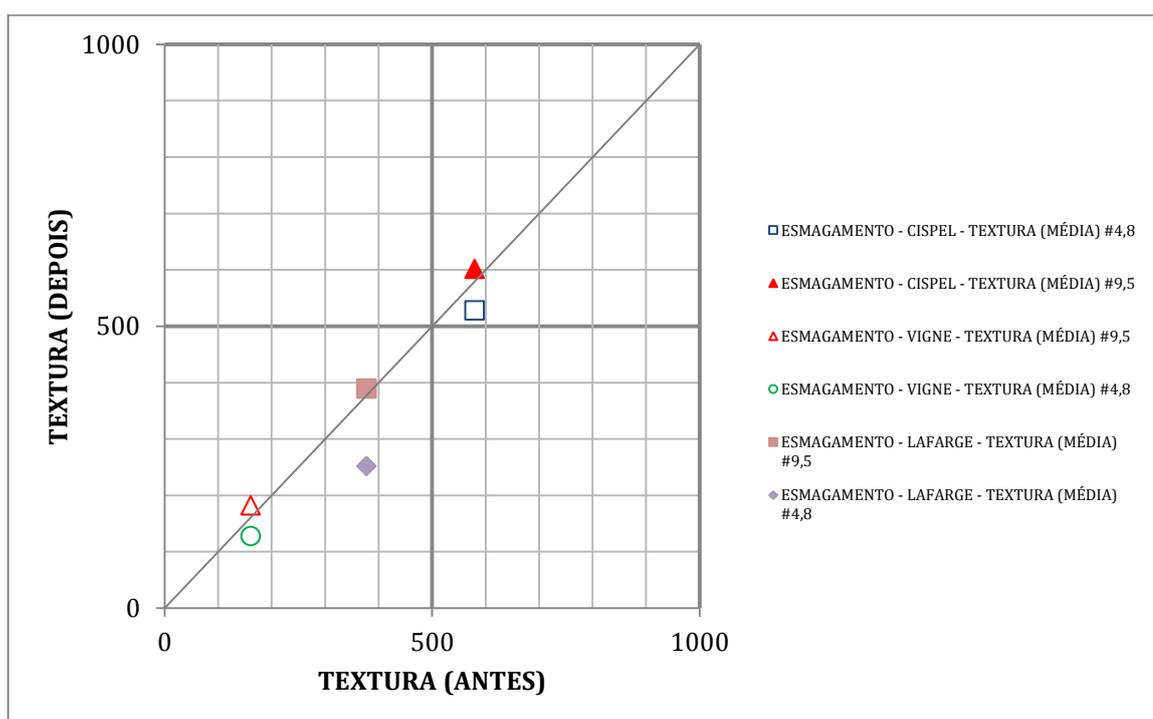


Figura 112 - textura média antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento

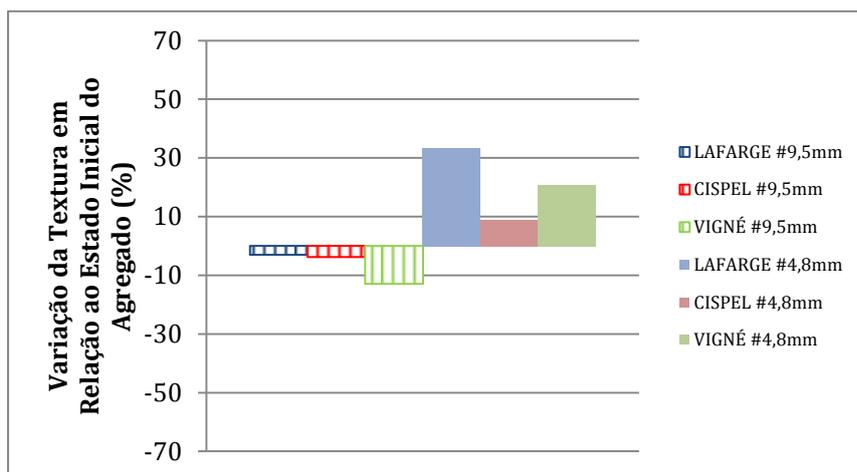


Figura 113 – Variação da textura em relação ao estado inicial do agregado dado em porcentagem

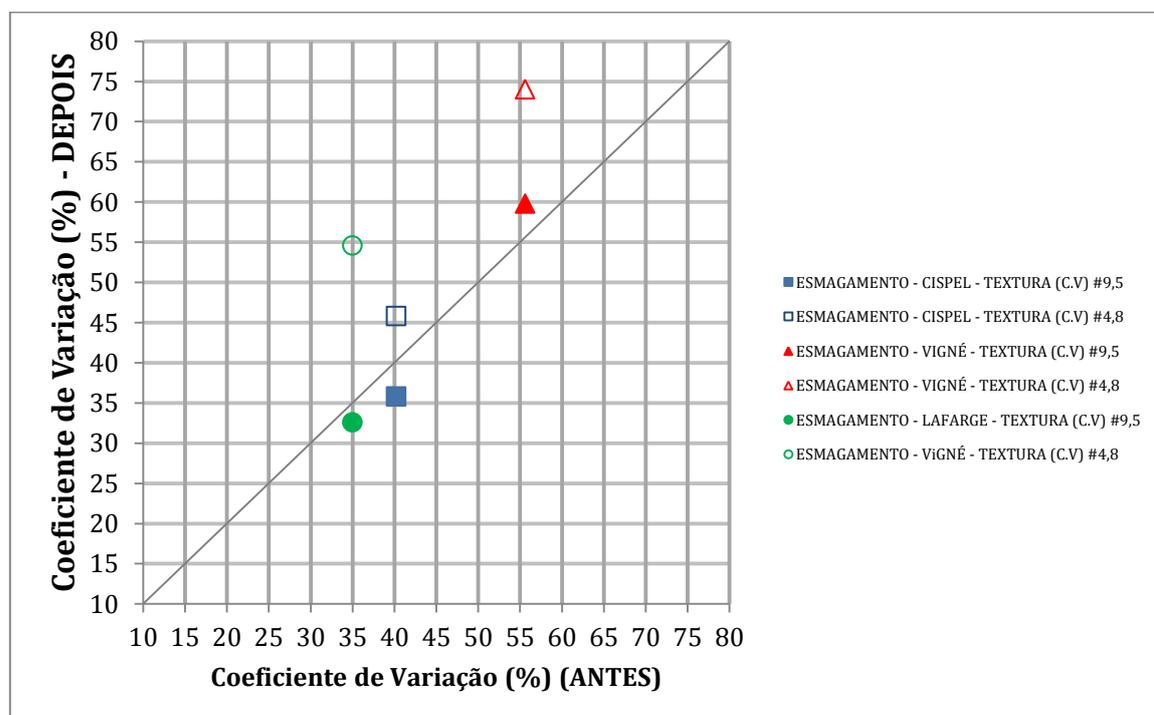


Figura 114 - Coeficiente de variação antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento dado em porcentagem

Na esfericidade, o gnaisse apresentou comportamento parecido nos três ensaios feitos nessa pesquisa, no caso da pedreira Vigné e do granito da pedreira Lafarge o resultado foi muito semelhante com os mostrados pelo ensaio Los Angeles para essas litologias, inclusive tendo valores de ganho de esfericidade muito próximo para as três pedreiras estudadas.

Na análise das médias da esfericidade depois de serem submetidas ao ensaio de resistência ao esmagamento (Figura 115) foi percebido um aumento para todas as litologias estudadas, ficando os pontos acima da reta de 45°. A pedra Cispel e Vigné apresentaram uma variação muito parecida (8 a 11%, figura 116) e os granitos da Lafarge obteve uma variação maior (16%). Como aconteceu nos outros ensaios, o coeficiente de variação para esfericidade (Figura 117) mostrou os agregado mais homogêneos para esse atributo chegando o maior coeficiente a 16%.

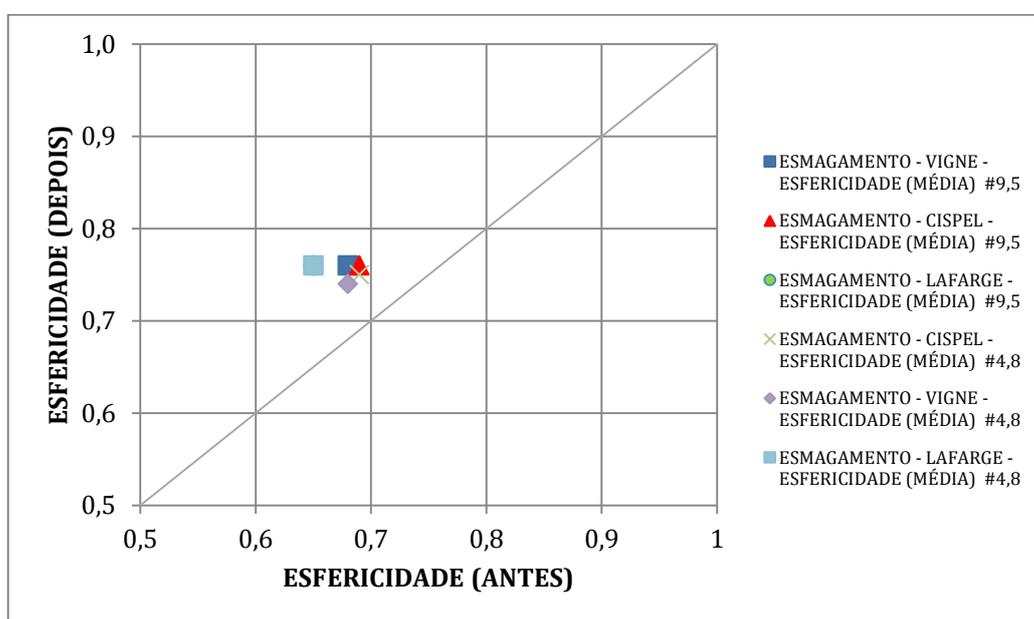


Figura 115 – Esfericidade antes e depois do ensaio de resistência ao esmagamento

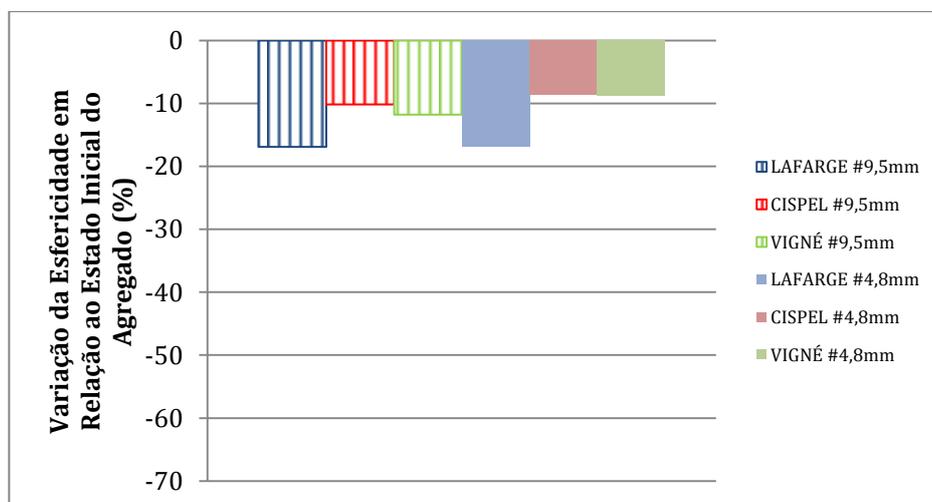


Figura 116 – Variação da esfericidade em relação ao estado inicial do agregado dado em porcentagem

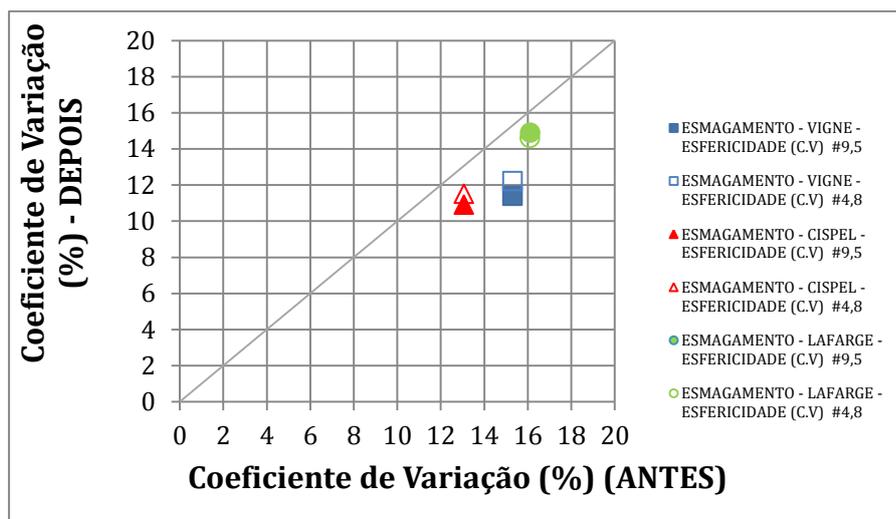


Figura 117 – Coeficiente de Variação antes e depois de ser submetido ao ensaio de resistência ao esmagamento dado em porcentagem

Na tabela 15 é apresentada a média dos valores de AIMS para as três propriedades das três pedreiras presentes no atual estudo para o ensaio resistência ao esmagamento.

Tabela 15 – Média de angularidade, esfericidade e textura com seus respectivos coeficientes de variação para as pedreiras Lafarge, Vigné e Cispel para o ensaio de resistência ao esmagamento

PEDREIRA	PARÂMETRO	Resistência ao Esmagamento							
		AGREGADOS RETIDOS - ABERTURA DA PENEIRA (mm)							
		9,5 (antes)		9,5 (depois)		4,8 (depois)		1,7 (depois)	
		MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)	MED	CV (%)
CISPEL	Angularidade	3200,7 subarredondado	23,1	3016,7 subarredondado	25,1	3141,7 subarredondado	25,9	3595,3 subarredondado	26,2
VIGNÉ	Angularidade	3277,9 subarredondado	22,3	3116,1 subarredondado	24,8	3095 subarredondado	23,1	3574,1 subarredondado	25,1
LAFARGE	Angularidade	2933 subarredondado	22,4	2734,4 subarredondado	23,6	3035,5 subarredondado	23,5	3856,5 subarredondado	24,7
CISPEL	Esfericidade	0,69 baixa esfericidade	13,06	0,76 esfericidade moderada	10,9	0,75 esfericidade moderada	11,5		
VIGNÉ	Esfericidade	0,68 baixa esfericidade	15,3	0,76 esfericidade moderada	11,4	0,74 esfericidade moderada	12,2		
LAFARGE	Esfericidade	0,65 baixa esfericidade	16,1	0,76 esfericidade moderada	14,9	0,76 esfericidade moderada	14,6		
CISPEL	Textura	579,7 alta rugosidade	40,2	601,6 alta rugosidade	35,8	527,9 alta rugosidade	45,8		
VIGNÉ	Textura	161,2 polido	35	182,1 macio	32,6	127,7 polido	54,6		
LAFARGE	Textura	377,7 rugosidade moderada	28,9	389,1 rugosidade moderada	35	251,6 macio	53,6		

## 6. Conclusões e sugestões de pesquisas futuras

Como considerações finais depreendem-se as seguintes conclusões:

- A pedreira com melhor comportamento de resistência mecânica (abrasão, impacto ou esmagamento) foi a pedreira Vigné representada pelos traquitos e sienitos. É conveniente citar que mesmo tendo heterogeneidade na pedreira, apresentando três tipos diferentes de rocha, os seus resultados mecânicos foram superiores às outras duas rochas citadas no trabalho. Um dos motivos de isso acontecer é que os traquitos e sienitos presentes na pedreira sofreram alteração por hidrotermalismo, que proporcionou uma cobertura carbonática por toda rocha, inclusive na sua matriz, aumentando consideravelmente a resistência da rocha. Outro motivo é a grande quantidade de traquitos (textura afanítica) e sienitos com textura fina e pouca quantidade de basalto (textura afanítica), essa granulação fina e afanítica também é responsável pelo ganho de resistência. Outro fator importante citar é que não existem biotitas, que é um mineral muito abrasivo, nas lâminas dessa rocha.
- O gnaiss representado pela pedreira Cispel apresentou altos valores de perda de massa nos ensaios de resistência a que foi submetidas, um dos motivos foi a constatação de um hidrotermalismo presente nessa pedreira, só que ao contrário da pedreira Vigné, esse processo fez com que as biotitas e os feldspatos sofressem um processo de cloritização, diminuindo a resistência mecânica e deixando a cor da rocha mais esverdeada. Deve-se registrar a alta quantidade de microfraturas encontradas nos cristais da rocha, assim como a elevada quantidade de muscovita oriunda de processos de alteração intempérica, também é encontrada uma grande quantidade de biotitas que ajudaram a diminuir a resistência mecânica.

- No caso do granito da Lafarge, a baixa resistência indicada nos ensaios acontece provavelmente devido à grande quantidade de micro-fraturas encontradas nos minerais. Rochas com granulação muito grossas tendem a ter maior pontos de fraquezas nos seus minerais, conseqüentemente diminuindo a sua resistência mecânica. Também é notada alta quantidade de biotitas se alterando para cloritas e moscovitas, ambas de origem intempéricas.
- Pelos resultados de abrasão Los Angeles no AIMS percebe-se para todas as pedreiras que o polimento sofrido pelas rochas testadas é quase nula, aparecendo somente nas frações menores, que tem a perda de rugosidade ligada mais a sua origem devido à quebra e não por polimento *stricto sensu*, confirmando o que foi escrito por Rogers (1998), inclusive sendo percebido mais quebras por impacto.
- Média aritmética não é uma boa medida para se expressar os resultados do AIMS em relação a textura e angularidade, devido ao alto valor do coeficiente de variação que esses dois atributos demonstraram, sendo melhor usar a distribuição cumulativa.
- Em regra, o comportamento das partículas de granulometria passante na peneira de 4,8mm tem um comportamento diferenciado do agregado graúdo, sendo este muito mais anguloso do que os fragmentos de maior graduação. O principal motivo é que as partículas passantes na peneira de 4,8mm são geradas pela quebra dos ângulos dos agregados maiores, tornando-se assim muitas vezes mais angulosas que os fragmentos antes de sofrer o esforço mecânico em questão.

- Devido à diferenciação dos atributos dos agregados com a redução da granulação, deve-se tomar cuidado ao se fazer comparações de resistência entre faixas de tamanhos granulométricos diferentes, pois grãos mais finos tendem a ter comportamento diferente dos que os mais graúdos de uma mesma litologia que sofreu o mesmo tipo de esforço mecânico. A título de exemplo apresenta-se o resultado de angularidade após o ensaio de impacto Treton que demonstrou um aumento de angularidade nos agregados retidos na peneira de 12,5mm se comparado com os que não sofreram o esforço retidos na peneira de 16mm, mesmo com sua esfericidade sendo aumentada. Este resultado é explicado pelo efeito de quebra de uma partícula maior originando fragmentos com dimensões menores e mais angulosas.
- A diferença de comportamento em relação ao atributo de angularidade registrado pelo AIMS, mostra um ganho para todas as pedreiras após o ensaio de impacto Treton, diferenciando a perda deste atributo sofrida pelo material depois de terem sido submetidos aos ensaios de resistência ao esmagamento e Los Angeles, evidenciando uma diferença de resposta mecânica para cada tipo de ensaio, enquanto o comportamento do Treton tende a ser por impacto que provoca a quebra dos agregados devido ao peso do cilindro maciço, produzindo um material com tendência mais rugosa, no Los Angeles o esforço do impacto que as partículas sofrem é causada pelo choque entre elas e das esferas de aço presentes no tonel. O resultado é a produção de mais finos no Los Angeles por causa de uma agressividade maior no ensaio e principalmente porque os novos fragmentos formados são oriundos das quebras das arestas do material primário. Já no ensaio de esmagamento o processo é uma resposta do atrito entre os agregados devido a força aplicada na parte superior do cilindro provocando uma quebra por pressão, tendo uma perda de angularidade muito menor em comparação ao ensaio de Los Angeles.

Para outros trabalhos futuros é sugerido o incremento de mais tipos litológicos diferentes e outros ensaios de esforços para que se possa fazer uma biblioteca de dados mais aprofundada que poderia fixar melhor os resultados e aprimorar as técnicas vigentes de caracterização de resistência mecânica de rochas como agregados para construção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO TP 33 Method for UNcompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, & Grading). American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.

AASHTO TP 58 (2000) Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.

ABGE(1998). Geologia de Engenharia. Editores: Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. São Paulo; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE).

ABNT NBR 7211(2005): Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 11p

ABNT NBR 9935(2005): Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro. 4p

AL - Rousan, T.M. (2004) Characterization of Aggregate Shape Properties Using Computer Automated System. Tese de PH.D. TAMU, College Station, Texas, Estados Unidos

AL – Rousan, T; E, Masad; L Myers e C. Speigelman (2005) A New Methodology for Shape Classification of Aggregates Used in Asphalt Mixes. Transportation Research Board, 84<sup>o</sup> Annual Meeting

ASTM D 4791 (1999) Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, ASTM.

ASTM D 5821 (2001) Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, ASTM.

ASTM D 2419 (2002) Plastic Fine in Graded Aggregates and Soils by Use of The Sand Equivalent Test. American Society for Testing and Materials, ASTM.

Bernucci et al. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros; Rio de Janeiro. Petrobras: ABEDA. 2010. 504p

Bessa, I. S. (2012) Avaliação do Processamento Digital de Imagens como Ferramenta para Caracterização de Agregados e Misturas Asfálticas. Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado.

Castelo Branco, V.T.F.; Masad, E.; Little, D.N.; Soares, J.B.; Motta, L.M.G. (2006) Caracterização de Forma, Angularidade e Textura de Agregado de Brita Granítica e Escórias de Aciaria Usando o Aggregate Imaging Measurement System (AIMS). In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, DF.

Cross, S. A.; PURCELL, E. M. (2001) Effects of Fine Aggregate Angularity on VMA and Rutting of Kansas HMA Mixtures. ASTM STP 1412 – American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA.

Chiossi, Nivaldo José (1979). Geologia aplicada à Engenharia; 2a ed.; pp. 103 – 110.

Cooley Jr, L.; James, R. (2003) Micro-Deval Testing of Aggregates in Southeast. Transportation Research Record 1837, Transportation Research Board Washington, DC, 73-79

CPRM/DRM- RJ/GeoBank (2001) Mapa Geológico Simplificado do Estado do Rio de Janeiro – As Rochas Contam sua História. Disponível em: [www.drm.rj.gov.br](http://www.drm.rj.gov.br) e [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

DNER-ME 035 (1998) Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles,

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNER-ME 197(1997): agregados: determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1997.

DNER-ME 399 (1999) Agregados – Determinação da Perda ao Choque no Aparelho Treton. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ.

DNPM (2009). Economia Mineral do Brasil. Brasília-DF. 764 p.

Erdogan, S. T.; Quiroga, P. N.; Fowler, D. W.; Saleh, H. A.; Livingston, R. A.; Garboczi, E. J.; Ketcham, P. M.; Hagedorn, J. G.; Satterfield, S. G., (2006). Three-dimensional shape analysis of coarse aggregates: New techniques for and preliminary results on several different coarse aggregates and reference rocks. Cement and Concret Research. USA. p1619 – 1627

Evangelista JR, F. ; Souza, Leonardo Tavares de ; Soares, J. B.(2005). Processamento digital de imagens aplicado a caracterização de agregados quanto á forma. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Recife. Anpet 2005, 2005. v. II. p. 1516-1528.

Fernlund, J. M. R., (2005). 3-D image analysis size and shape method applied to the evaluation of the Los Angeles test. Engineering Geology. Stockhom, Sweden. p57-67

Fernlund, J. M. R., (2004a). Image -analysis method for determining 3-D size-distribution of coarse aggregate. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, in press.

Fernlund, J. M. R., (2004b). Image - analysis method for determining 3-D size-distribution of coarse aggregate. Cement and Concrete Research, submitted.

Foster, C. R. (1970) Dominant Effect of Fine Aggregate on Strength of Dense-

Graded Asphalt Mixes. Highway Research Board Special Report 109. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1-3.

Illerstrom, A., (1998). A 3-D laser technique for size, shape and texture analysis of ballast. Msc thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

IPR/DNIT – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS.(1998) Estudos e pesquisas de rochas de pedreiras para estabelecimento de critérios de qualidade frente às normas e procedimentos existentes e sua aceitação. Relatório final. ECL – Engenharia, Consultoria e Economia S.A.  
Rio de Janeiro.

Lanaro, F.; Tolppanea, P.,(2002) 3d characterization of coarse aggregates. Engineering Geology. Helsinki, Finland. p17-30

Masad, E. (2004) Notas de Aula – Materiais Betuminosos. Texas A&M University

Masad, E.; S. Saadeh; T. Al-Rousan; E. Garboczi e D. Little (2005a) Computations of Particle Surface Characteristic Using Optical and X-Ray CT Images. Computational Materials Science 34. Elsevier Publication, p. 406-424

Masad, E.; T. AL-Rousan; J. Button e D. Little (2005b) Test Methods for Characterize Aggregate Shape, Texture and Angularity Final Report 4-30A, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council

Masad, E. (2004) X-ray Computed Tomography of Aggregates and Asphalt Mixes. Materials Evaluation, 775-783

Nascimento, L. A. H. (2008) Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação Permanente. Dissertação de Mestre. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, RJ.

Person, A-L (1998) Image Analysis of Shape and Size of Fine Aggregates. Division of Engineering Geology, Department of Civil and Environmental Engineering. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden. Engineering Geology 50. P 177-186.

Petrucci, E.G. (1975). Materiais de construção. Porto Alegre: Globo. 435p.

Pires, F.R.M.; Valença, J.G. & Ribeiro, A. (1982). Multistage generation of granite in Rio de Janeiro, Brazil. Rio de Janeiro, An. Acad. Brás. Ciênc., 54 (3): 563-574.

Rezaei, A. (2010) Development of a Prediction Model for Skid Resistance of Asphalt Pavements. Texas A&M University. P.h. D. Dissertation.

Ribeiro, E. M. (2006) Caracterização de Agregados Grúdos do Rio de Janeiro para Concreto Estrutural. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COOPE. Tese de doutorado.

Rogers, C. (1998) Canadian Experience with the Micro-Deval Test for Aggregates. Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation 13, 139-147.

Souza, L.T. (2009) Investigation of Aggregate Angularity Effects on Asphalt Concrete Mixture Performance Using Experimental and Virtual Asphalt Samples. Dissertação de Mestrado, UNL, Lincoln, NE.

Valente, S.C., Mello, E.F., Palermo, N. (2005) Geologia de uma porção do complexo vulcânico de Nova Iguaçu limítrofe à área de lavra da pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ. Relatório final. Nova Iguaçu: Ministério Público,. 72p.

## **Anexo**

### **Tabelas de Granulometria**

Tabela 1 – Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de abrasão Los Angeles para o gnaisse da pedra Cispel

			total(g)	Acumulado(%)	
Cispel	peso em gramas		2866,51	100%	
12,5	677,92			23,65%	99,9%
9,5	511,26			17,8%	76,4%
4,8	933,52			32,6%	58,6%
1,7	743,81			25,9%	26,0%

Tabela 2 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de abrasão Los Angeles para o sienito/traquito da pedra Vigné.

			total(g)	Acumulado(%)	
Vigné	peso em gramas		3728,03	100%	
12,5	907,7			24%	99,99%
9,5	1034			28%	75,65%
4,8	1258			34%	47,92%
1,7	528,33			14%	14,17%

Tabela 3 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de abrasão Los Angeles para o granito da pedra Lafarge.

			total(g)	Acumulado(%)	
Lafarge	peso em gramas		2817,61	100%	
12,5	631,16			22,40%	99,99%
9,5	504,68			17,91%	77,60%
4,8	854,85			30,34%	59,69%
1,7	826,92			29,35%	29,35%

Tabela 4 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de impacto Treton para o gnaisse da pedra Cispel

			total(g)	Acumulado(%)	
Cispel	peso em gramas		122,87	100%	
12,5	18,37			14,95%	99,9%
9,5	28,3			23,0%	97,2%
4,8	59,22			48,2%	74,2%
1,7	16,98			13,8%	26,0%

Tabela 5 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de impacto Treton para o sienito/traquito da pedreira Vigné.

			total(g)	Acumulado(%)	
Vigné	peso em gramas		109,88	100%	
12,5	9,29			8%	99,99%
9,5	40,97			37%	91,55%
4,8	45,4			41%	54,26%
1,7	14,22			13%	12,94%

Tabela 6 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de impacto Treton para o granito da pedreira Lafarge.

			total(g)	Acumulado(%)	
Lafarge	peso em gramas		147,12	100%	
12,5	21,58			14,67%	99,99%
9,5	28,36			19,28%	85,33%
4,8	77,78			52,87%	66,05%
1,7	19,4			13,19%	13,19%

Tabela 7 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de resistência ao esmagamento para o gnaisse da pedreira Cispel

			total(g)	Acumulado(%)	
Cispel	peso em gramas		2656,87	100%	
9,5	979,82			36,9%	100,0%
4,8	1166,7			43,9%	69,9%
2,4	510,35			19,2%	26,0%

Tabela 8 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de resistência ao esmagamento para o sienito/traquito da pedreira Vigné.

			total(g)	Acumulado(%)	
Vigné	peso em gramas		2774,83	100%	
9,5	934,85			34%	100,00%
4,8	1307,23			47%	66,31%
2,4	532,75			19%	19,20%

Tabela 9 - Quantidade de material acumulado e retido para cada peneira depois do ensaio de resistência ao esmagamento para o granito da pedreira Lafarge.

			total(g)	Acumulado(%)	
Lafarge	peso em gramas		2528,35	100%	
9,5	968,83			38,32%	100,00%
4,8	1005,4			39,77%	61,68%
2,4	554,12			21,92%	21,92%