

**TIAGO ALEXANDRE DÓCUSSE**

Sistema Embarcado para Suporte ao Diagnóstico de  
Microcalcificações em Mamografias Digitais

Ilha Solteira  
2014



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**TIAGO ALEXANDRE DÓCUSSE**

**Sistema Embarcado para Suporte ao Diagnóstico de  
Microcalcificações em Mamografias Digitais**

**Orientador:** Prof. Dr. Alexandre César Rodrigues da Silva

Tese apresentada à Faculdade de  
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha  
Solteira, para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Elétrica.  
Área de Conhecimento: Automação.

Ilha Solteira  
2014

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Dócusse, Tiago Alexandre.

D636s Sistema embarcado para suporte ao diagnóstico de microcalcificações em mamografias digitais / Tiago Alexandre Dócusse. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014  
137 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2014

Orientador: Alexandre César Rodrigues Da Silva  
Inclui bibliografia

1. Processamento de imagens. 2. Transformada wavelet. 3. Redes neurais artificiais. 4. Detecção de câncer. 5. Sistemas embarcados. 6. Fpga.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

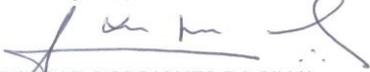
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

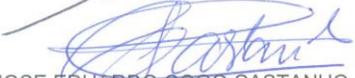
**TÍTULO:** Sistema embarcado para suporte ao diagnóstico de microcalcificações em mamografias digitais

**AUTOR:** TIAGO ALEXANDRE DÓCUSSE

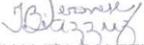
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. JOSE EDUARDO COGO CASTANHO  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru

  
Prof. Dr. RICARDO TOKIO HIGUTI  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Profª. Dra. THALITA BIAZZUZ VERONESE  
Departamento de Informática / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

  
Prof. Dr. RICARDO ZELENOVSKY  
Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade de Brasília

Data da realização: 10 de fevereiro de 2014.

À minha família, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus, por me dar saúde e condições para estudar e prosseguir nos meus estudos.

A meu pai e minha mãe, pelo amor, apoio e suporte dados.

A minha esposa, pelo companheirismo e compreensão nos momentos difíceis atravessados.

Ao Prof. Dr. Alexandre César Rodrigues da Silva, por acreditar e confiar neste trabalho, além das orientações, dicas e conselhos dados.

Ao Prof. Dr. Aledir Silveira Pereira, pela colaboração no trabalho.

Ao Prof. Dr. Norian Marranghello, pelas contribuições e auxílios dados.

A todos os professores que participaram das bancas das disciplinas de Estudos Especiais I e II e do exame geral de qualificação, pelas contribuições sugeridas.

A todos os docentes do Instituto Federal dos *campi* Barretos e Campos do Jordão, pelo auxílio nos momentos de estudo e de obtenção de recursos.

## RESUMO

Estudos internacionais indicam que o câncer de mama é o segundo maior causador de mortes em mulheres com câncer no mundo, e a melhor forma de tratar essa doença é através de seu diagnóstico precoce, que pode ser realizado através da análise de imagens de mamografias digitais. Uma das formas de se realizar o diagnóstico através de imagens é procurar por microcalcificações, pequenos acúmulos de cálcio que podem ser classificados em cinco tipos, de acordo com a classificação de Le Gal. Neste trabalho é apresentado um sistema embarcado que foi desenvolvido para classificar microcalcificações de acordo com a classificação de Le Gal, utilizando *wavelets* e redes neurais artificiais. O sistema foi desenvolvido utilizando-se um processador Nios II, através da configuração do *hardware* projetado na FPGA presente na placa DE2-115. Os testes com imagens simuladas apresentaram 92,50% de acerto nas suas classificações. Testes com algumas imagens reais também apresentaram bons resultados na classificação das microcalcificações. Isto tudo indica a possibilidade de se utilizar equipamentos embarcados no diagnóstico precoce do câncer de mama.

**Palavras-chave:** Processamento de imagens. Transformada *wavelet*. Redes neurais artificiais. Detecção de câncer. Sistemas embarcados. FPGA.

## **ABSTRACT**

International studies indicate that breast cancer is the second greatest cause of death in women with cancer worldwide, and the best way to treat this disease is by its early diagnosis, which can be performed by analyzing images of digital mammograms. One of the ways to make the diagnosis using images is to look for microcalcifications, small accumulations of calcium that can be classified into five types, according to the Le Gal classification scheme. This work presents an embedded system developed to classify microcalcifications according to the Le Gal classification scheme using wavelets and artificial neural networks. The system was developed using a Nios II processor by the configuration of the designed hardware on the FPGA located on the DE2 -115 board. Tests with simulated images showed an accuracy rating of 92.50%. Some tests with real images also showed good results in classification of microcalcifications. All of this indicates the possibility of using embedded devices for the early diagnosis of breast cancer.

**Keywords:** Image processing. Wavelet transform. Artificial neural networks. Cancer detection. Embedded systems. FPGA.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Exemplos de tipos de microcalcificações segundo a classificação de Le Gal.....	18
<b>Figura 2</b>	- Placa DE2-115 utilizada no desenvolvimento do sistema proposto.....	27
<b>Figura 3</b>	- Componentes do hardware projetado.....	28
<b>Figura 4</b>	- Esquemática geral do software desenvolvido.....	30
<b>Figura 5</b>	- Exemplo de uma matriz usada para representar uma imagem digital....	32
<b>Figura 6</b>	- Exemplo de armazenamento dos valores dos pixels de uma imagem utilizando o formato PCX.....	36
<b>Figura 7</b>	- Diagrama de blocos para a leitura da informação de um pixel em uma imagem no formato PCX.....	37
<b>Figura 8</b>	- Esquema geral da etapa de pré-processamento.....	38
<b>Figura 9</b>	- Exemplos da etapa de pré-processamento utilizando-se imagens reais.....	39
<b>Figura 10</b>	- Esquema geral da etapa de decomposição <i>wavelet</i> .....	40
<b>Figura 11</b>	- Exemplo de funcionamento do algoritmo de crescimento de região.....	44
<b>Figura 12</b>	- Vizinhanças de um pixel.....	45
<b>Figura 13</b>	- Diagrama de blocos do algoritmo de crescimento de região.....	46
<b>Figura 14</b>	- Exemplo de MPG e MPL.....	48
<b>Figura 15</b>	- Exemplos de tipos de microcalcificações segundo a classificação de Le Gal.....	49
<b>Figura 16</b>	- Exemplos de pixels base (B) e topo (T) de ROIs.....	50
<b>Figura 17</b>	- Exemplos de nova seleção de pixels base (B) e topo (T) de ROIs.....	51
<b>Figura 18</b>	- Possíveis direções de crescimento das ROIs.....	52
<b>Figura 19</b>	- Representação gráfica dos limites de ângulo para a definição da direção de crescimento de uma ROI.....	53
<b>Figura 20</b>	- Valores de ângulo mínimo e máximo utilizados para cada intervalo....	54
<b>Figura 21</b>	- Exemplo de utilização de ponto central não calculado.....	54
<b>Figura 22</b>	- Exemplo da direção usada para calcular a largura de ROIs.....	55
<b>Figura 23</b>	- Imagens utilizadas no treinamento da RNA.....	57
<b>Figura 24</b>	- Exemplo de arquivo para utilização no treinamento da RNA.....	61
<b>Figura 25</b>	- Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 1 de 3.....	66
<b>Figura 26</b>	- Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 2 de 3.....	67
<b>Figura 27</b>	- Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 3 de 3.....	68
<b>Figura 28</b>	- Exemplo de numeração automática das microcalcificações.....	70
<b>Figura 29</b>	- Matrizes utilizadas na numeração automática das microcalcificações.....	71
<b>Figura 30</b>	- Visualização do arquivo de resultados XML em um navegador – Parte 1 de 2.....	72
<b>Figura 31</b>	- Visualização do arquivo de resultados XML em um navegador – Parte 2 de 2.....	73
<b>Figura 32</b>	- Exemplo de cabeçalho de imagens no formato BMP.....	75
<b>Figura 33</b>	- Mensagem de espera pela inserção de cartão SD.....	76
<b>Figura 34</b>	- Mensagem de erro ao inserir cartão SD com formato inválido.....	77

<b>Figura 35</b>	- Escolha de imagem de entrada.....	77
<b>Figura 36</b>	- Botões de pressão utilizados para a escolha da imagem de entrada.....	78
<b>Figura 37</b>	- Mensagem de progresso apresentada ao iniciar a etapa 2 de 6.....	79
<b>Figura 38</b>	- Mensagem apresentada ao término do processamento da imagem de entrada.....	80
<b>Figura 39</b>	- Imagens simuladas utilizadas nos testes.....	81
<b>Figura 40</b>	- Resultados obtidos no processamento das imagens da Figura 39.....	82
<b>Figura 41</b>	- Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,01 de variância.....	87
<b>Figura 42</b>	- Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,01 de variância.....	88
<b>Figura 43</b>	- Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,02 de variância.....	92
<b>Figura 44</b>	- Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,02 de variância.....	93
<b>Figura 45</b>	- Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,04 de variância.....	97
<b>Figura 46</b>	- Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,04 de variância.....	98
<b>Figura 47</b>	- Resultados do processamento das imagens da Figura 39, sem ruído.....	104
<b>Figura 48</b>	- Resultados do processamento das imagens da Figura 41, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,01 de variância...	105
<b>Figura 49</b>	- Resultados do processamento das imagens da Figura 43, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,02 de variância...	106
<b>Figura 50</b>	- Resultados do processamento das imagens da Figura 45, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,04 de variância...	108
<b>Figura 51</b>	- Variação do erro na classificação por tipo de microcalcificação.....	111
<b>Figura 52</b>	- Alteração média nas características extraídas das microcalcificações devido à adição de ruídos.....	112
<b>Figura 53</b>	- Porcentagem de acerto do sistema.....	114
<b>Figura 54</b>	- Porcentagem de acerto calculada de forma isolada, por tipo de microcalcificação.....	115
<b>Figura 55</b>	- Porcentagem de acerto calculada de forma acumulada, por tipo de microcalcificação.....	115
<b>Figura 56</b>	- Imagens reais de lesões benignas.....	116
<b>Figura 57</b>	- Resultado do processamento das imagens presentes na Figura 56.....	116
<b>Figura 58</b>	- Imagens reais de lesões malignas.....	118
<b>Figura 59</b>	- Resultado do processamento das imagens presentes na Figura 58.....	118
<b>Figura 60</b>	- Código inicial em Verilog para projeto na placa DE2-115.....	131
<b>Figura 61</b>	- Atribuições das entradas e saídas de acordo com os dados do SPOC Builder.....	133
<b>Figura 62</b>	- Código para a utilização do LCD.....	135
<b>Figura 63</b>	- Código para a utilização do LCD e dos botões de pressão.....	136
<b>Figura 64</b>	- Código para a utilização do cartão SD.....	137

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Resultado da compilação do hardware projetado apresentado pelo <i>software</i> Quartus II.....	29
<b>Tabela 2</b>	- Cabeçalho de um arquivo PCX.....	34
<b>Tabela 3</b>	- Valores de ângulos mínimo e máximo para a definição do sentido de crescimento da ROI.....	53
<b>Tabela 4</b>	- Valores de normalização para as entradas da RNA.....	56
<b>Tabela 5</b>	- Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo I, presentes na Figura 23(a).....	58
<b>Tabela 6</b>	- Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo II, presentes na Figura 23(b).....	58
<b>Tabela 7</b>	- Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo III, presentes na Figura 23(c).....	59
<b>Tabela 8</b>	- Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo IV, presentes na Figura 23(d).....	59
<b>Tabela 9</b>	- Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo V, presentes na Figura 23(e).....	60
<b>Tabela 10</b>	- Testes realizados com a angulação da ROI.....	62
<b>Tabela 11</b>	- Resultado dos testes feitos com a angulação da ROI.....	62
<b>Tabela 12</b>	- Resultados variando a taxa de treinamento e a inclinação da função sigmoide.....	62
<b>Tabela 13</b>	- Pesos da camada de entrada da rede neural.....	63
<b>Tabela 14</b>	- Pesos da camada escondida da rede neural.....	64
<b>Tabela 15</b>	- Pesos da camada de saída da rede neural.....	64
<b>Tabela 16</b>	- Descrição dos marcadores utilizados no arquivo de resultados do processamento de uma imagem de entrada.....	69
<b>Tabela 17</b>	- Cabeçalho de um arquivo BMP.....	74
<b>Tabela 18</b>	- Relação entre o número e o nome da etapa, de acordo com as mensagens de progresso apresentadas ao usuário.....	78
<b>Tabela 19</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(a).....	83
<b>Tabela 20</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(b).....	83
<b>Tabela 21</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(c).....	83
<b>Tabela 22</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(d).....	83
<b>Tabela 23</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(e).....	84
<b>Tabela 24</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(f).....	84
<b>Tabela 25</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(g).....	84

<b>Tabela 26</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(h).....	84
<b>Tabela 27</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(i).....	85
<b>Tabela 28</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(j).....	85
<b>Tabela 29</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(k).....	85
<b>Tabela 30</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(l).....	85
<b>Tabela 31</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(m).....	86
<b>Tabela 32</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(n).....	86
<b>Tabela 33</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(a), utilizando-se 0,01 de variância.....	88
<b>Tabela 34</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42 (b) , utilizando-se 0,01 de variância.....	88
<b>Tabela 35</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(c), utilizando-se 0,01 de variância.....	89
<b>Tabela 36</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(d), utilizando-se 0,01 de variância.....	89
<b>Tabela 37</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(e), utilizando-se 0,01 de variância.....	89
<b>Tabela 38</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(f), utilizando-se 0,01 de variância.....	89
<b>Tabela 39</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(g), utilizando-se 0,01 de variância.....	90
<b>Tabela 40</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(h), utilizando-se 0,01 de variância.....	90
<b>Tabela 41</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(i), utilizando-se 0,01 de variância.....	90
<b>Tabela 42</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(j), utilizando-se 0,01 de variância.....	90
<b>Tabela 43</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(k), utilizando-se 0,01 de variância.....	91
<b>Tabela 44</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(l), utilizando-se 0,01 de variância.....	91
<b>Tabela 45</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(m), utilizando-se 0,01 de variância.....	91
<b>Tabela 46</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(n), utilizando-se 0,01 de variância.....	91
<b>Tabela 47</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(a), utilizando-se 0,02 de variância.....	93
<b>Tabela 48</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(b), utilizando-se 0,02 de variância.....	93
<b>Tabela 49</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(c), utilizando-se 0,02 de variância.....	94
<b>Tabela 50</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(d), utilizando-se 0,02 de variância.....	94

<b>Tabela 51</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(e), utilizando-se 0,02 de variância.....	94
<b>Tabela 52</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(f), utilizando-se 0,02 de variância.....	94
<b>Tabela 53</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(g), utilizando-se 0,02 de variância.....	95
<b>Tabela 54</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(h), utilizando-se 0,02 de variância.....	95
<b>Tabela 55</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(i), utilizando-se 0,02 de variância.....	95
<b>Tabela 56</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(j), utilizando-se 0,02 de variância.....	95
<b>Tabela 57</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(k), utilizando-se 0,02 de variância.....	96
<b>Tabela 58</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(l), utilizando-se 0,02 de variância.....	96
<b>Tabela 59</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(m), utilizando-se 0,02 de variância.....	96
<b>Tabela 60</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(n), utilizando-se 0,02 de variância.....	96
<b>Tabela 61</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(a), utilizando-se 0,04 de variância.....	98
<b>Tabela 62</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(b), utilizando-se 0,04 de variância.....	98
<b>Tabela 63</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(c), utilizando-se 0,04 de variância.....	99
<b>Tabela 64</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(d), utilizando-se 0,04 de variância.....	99
<b>Tabela 65</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(e), utilizando-se 0,04 de variância.....	99
<b>Tabela 66</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(f), utilizando-se 0,04 de variância.....	99
<b>Tabela 67</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(g), utilizando-se 0,04 de variância.....	100
<b>Tabela 68</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(h), utilizando-se 0,04 de variância.....	100
<b>Tabela 69</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(i), utilizando-se 0,04 de variância.....	100
<b>Tabela 70</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(j), utilizando-se 0,04 de variância.....	100
<b>Tabela 71</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(k), utilizando-se 0,04 de variância.....	101
<b>Tabela 72</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(l), utilizando-se 0,04 de variância.....	101
<b>Tabela 73</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(m), utilizando-se 0,04 de variância.....	101
<b>Tabela 74</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(n), utilizando-se 0,04 de variância.....	102
<b>Tabela 75</b>	- Dados do processamento das imagens da Figura 39, sem ruído.....	103

<b>Tabela 76</b>	- Dados do processamento das imagens da Figura 41, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,01 de variância.....	104
<b>Tabela 77</b>	- Dados do processamento das imagens da Figura 43, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,02 de variância.....	106
<b>Tabela 78</b>	- Dados do processamento das imagens da Figura 45, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,04 de variância.....	108
<b>Tabela 79</b>	- Porcentagem de acerto obtida pelo sistema.....	114
<b>Tabela 80</b>	- Porcentagem de acerto obtida pelo sistema, por tipo de microcalcificação.....	114
<b>Tabela 81</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(a).....	117
<b>Tabela 82</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(b).....	117
<b>Tabela 83</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(c).....	117
<b>Tabela 84</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(d).....	117
<b>Tabela 85</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(e).....	117
<b>Tabela 86</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(f).....	118
<b>Tabela 87</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 59(a).....	118
<b>Tabela 88</b>	- Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 59(b).....	119

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	American National Standards Institute
ARM	Advanced RISC Machine
BMP	Bitmap Image File
BSP	Board Support Package
CAD	Computer Aided Diagnosis
FPGA	Field Programmable Gate Array
GIF	Graphics Interchange Format
HAL	Hardware Abstraction Layer
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LCD	Liquid Crystal Display
MPG	Matriz de Pertinência Global
MPL	Matriz de Pertinência Local
PCX	Personal Computer Exchange
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RLE	Run Length Encoding
RNA	Rede Neural Artificial
ROI	Regions of Interest
SD	Secure Disk
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SIP	Scilab Image Processing Toolbox
SNR	Signal-To-Noise Ratio
SVM	Support Vector Machine
TIFF	Tagged Image File Format
USB	Universal Serial Bus
USP	Universidade de São Paulo
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformations

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	16
1.1	MOTIVAÇÃO	17
1.2	SISTEMAS DE APOIO AO DIAGNÓSTICO	19
1.3	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS EM DISPOSITIVOS EMBARCADOS	22
1.4	OBJETIVOS	23
1.5	JUSTIFICATIVA	23
1.6	DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO	24
1.7	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	25
1.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DESTE CAPÍTULO	25
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO</b>	27
2.1	DESCRIÇÃO GERAL DAS ETAPAS DO SOFTWARE	30
2.2	ETAPA DE AQUISIÇÃO	32
2.3	ETAPA DE PRÉ-PROCESSAMENTO	37
2.4	ETAPA DE DECOMPOSIÇÃO <i>WAVELET</i>	40
2.5	ETAPA DE CRESCIMENTO DE REGIÃO	42
<b>2.5.1</b>	<b>Extração de características</b>	48
2.6	ETAPA DE CLASSIFICAÇÃO	55
<b>2.6.1</b>	<b>Treinamento</b>	56
<b>2.6.2</b>	<b>Classificação</b>	64
2.7	ETAPA DE PÓS-PROCESSAMENTO	65
2.8	ETAPA DE ARMAZENAMENTO DOS RESULTADOS	65
2.9	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	76
2.10	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE ESTE CAPÍTULO	80
<b>3</b>	<b>AVALIAÇÃO DO SISTEMAS DESENVOLVIDO</b>	81
3.1	PROCESSAMENTO DE IMAGENS SIMULADAS	81
3.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS SIMULADAS	102
3.3	PROCESSAMENTO DE IMAGENS REAIS	116
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DESTE CAPÍTULO	119
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	120
4.1	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	121
	<b>REFERÊNCIAS</b>	123
<b>A</b>	<b>COEFICIENTES <i>WAVELETS</i> UTILIZADOS</b>	129
<b>B</b>	<b>MANUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS EM C++ PARA PLACA DE DESENVOLVIMENTO ALTERA DE2-115</b>	130
B.1	PROGRAMAÇÃO DO LCD	134

B.2	PROGRAMAÇÃO DOS BOTÕES DE PRESSÃO	135
B.3	PROGRAMAÇÃO DO LEITOR DE CARTÕES SD	136

## 1 INTRODUÇÃO

O câncer de mama é o tipo de câncer com maior número de ocorrências em mulheres no mundo com exceção do câncer de pele do tipo não melanoma (1.384.155 de um total de 6.044.710 casos, um percentual de aproximadamente 22,9%), e também é a primeira causa em número de óbitos de mulheres em todo o mundo, com exceção do câncer de pele do tipo não melanoma (458.503 de um total de 3.345.176 casos, um percentual de aproximadamente 13,7%) (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2010). No Brasil, estima-se que nos anos de 2014 e 2015 serão registrados, por ano, 576.580 novos casos de câncer entre homens e mulheres (302.350 casos entre os homens e 274.230 entre as mulheres, ou 52,44% de casos entre os homens e 47,56% entre as mulheres). Dentre os casos estimados para a população feminina, 57.120 deles serão de câncer de mama (aproximadamente 20,83%), o segundo no total, atrás apenas do câncer de pele do tipo não melanoma, com 83.710 novos casos estimados tanto em 2014 quanto em 2015 (aproximadamente 30,53%) (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA, 2014).

O câncer é uma doença caracterizada pela neoplasia, uma forma de reprodução anormal e descontrolada das células do organismo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008), também chamada de tumor (BRASIL, 2010). No caso do câncer de mama, a neoplasia ocorre nos tecidos da mama. Os tumores podem ser classificados em dois tipos principais: os benignos e os malignos, diferenciados principalmente pela produção de metástase, que é a capacidade de um tumor de se espalhar e crescer em outras áreas do organismo, característica dos tumores do tipo maligno (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008). Além disso, os tumores malignos crescem rapidamente e causam necrose (morte celular) ou hemorragia (perda de sangue), enquanto os tumores benignos crescem lentamente sem provocar necrose e hemorragia (BRASIL, 2010).

Apesar de ocorrer predominantemente em pessoas do sexo feminino, existem casos raros em que o câncer de mama ocorre também em pessoas do sexo masculino (FENTIMAN; FOURQUET; HORTOBAGYI, 2006). Conforme a pessoa envelhece, pequenos acúmulos de cálcio chamados de microcalcificações podem surgir em suas mamas (SUSAN G. KOMEN FOR THE CURE, 2012; FOX; MORGAN, 2013). Esses elementos, devido ao seu minúsculo tamanho, em torno de 0,5mm (SCARANELO, 2004), podem ser o primeiro sinal de um câncer ainda não detectável através de exames de apalramento (HUANG et al., 1999).

Outra característica importante das microcalcificações é em relação ao formato e à quantidade em que elas aparecem, pois, de acordo com estudo patológico realizado por Michèle Le Gal através de biópsias (LE GAL; PELLIER; CHAVANNE, 1984), é possível para um médico, em alguns casos, dizer se um tumor é maligno ou benigno através apenas do formato e da quantidade que essas microcalcificações aparecem na mama, contribuindo assim para a melhor forma de tratamento dessa doença, que é seu diagnóstico e posterior tratamento precoce (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008). Dessa forma, é possível melhorar a qualidade de vida dos pacientes que possuem essa doença, pois através da detecção e do tratamento precoce pode-se evitar intervenções cirúrgicas, além de reduzir a necessidade de terapia auxiliar e também diminuir as complicações relacionadas a tratamentos intensivos e recaídas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

## 1.1 MOTIVAÇÃO

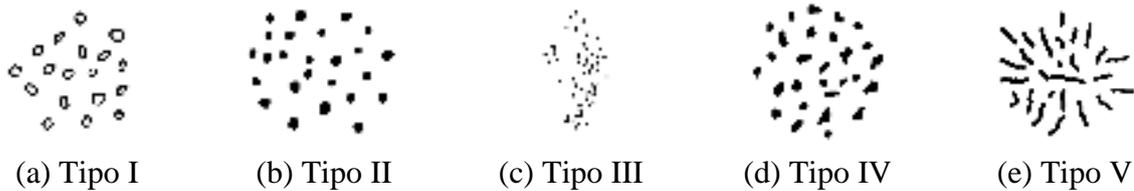
O diagnóstico precoce do câncer de mama pode ser feito por médicos através de exames clínicos e análise visual das mamografias (HUANG; LI; LIU, 2011), imagens obtidas através de exame mamográfico no qual são capturadas imagens da mama através de um equipamento de raios-x chamado mamógrafo. Um médico, através da análise visual dessas imagens, pode perceber a presença das microcalcificações na mama, e assim realizar o diagnóstico precoce da doença.

Atualmente, as imagens das mamografias podem ser armazenadas em formato digital, seja através da digitalização das mamografias obtidas a partir de mamógrafos analógicos, que capturam as imagens em filmes, ou então pela utilização de mamógrafos digitais, que já capturam a imagem em formato digital (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2012). Ao trabalhar com imagens no formato digital, é possível aplicar a elas diversas operações matemáticas a fim de auxiliar médicos no diagnóstico.

A classificação proposta por Michèle Le Gal, amplamente utilizada na Europa (ZANCA et al., 2008), permite classificar as microcalcificações em cinco tipos diferentes, possibilitando ao médico, em algumas situações, classificar um tumor presente na mama como maligno ou benigno através apenas da presença desses elementos. A classificação proposta por Le Gal é feita de acordo com o formato das microcalcificações.

Exemplos de elementos pertencentes a cada um dos cinco tipos podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1 – Exemplos de tipos de microcalcificações segundo a classificação de Le Gal.



Fonte: Pereira (1995).

As características de cada tipo de microcalcificação, de acordo com a classificação de Le Gal, são (PEREIRA, 1995):

- a) tipo I: chamadas de anelares, são microcalcificações em formato arredondado com interior não preenchido. Sempre que ocorrem, o tumor é benigno;
- b) tipo II: chamadas de círculos regulares, são microcalcificações em formato arredondado, contendo borda lisa e interior preenchido. O tumor é maligno em 22% das vezes que essas microcalcificações ocorrem;
- c) tipo III: chamadas de granulares, são microcalcificações minúsculas. O tumor é maligno em 40% das vezes que essas microcalcificações ocorrem;
- d) tipo IV: chamadas de círculos irregulares, são microcalcificações em formato arredondado, contendo borda rugosa e interior preenchido. O tumor é maligno em 66% das vezes que essas microcalcificações ocorrem;
- e) tipo V: chamadas de vermiformes, são microcalcificações em formato de verme. Sempre que ocorrem, o tumor é maligno.

Dessa forma, o médico responsável por um exame pode tentar visualizar as microcalcificações na mama, identificando os seus formatos para ajudar no diagnóstico precoce do câncer de mama. No entanto, a visualização do médico é prejudicada por dois fatores, que são o pequeno tamanho das microcalcificações, que nem sempre são palpáveis (MUTTARAK; KONGMEBHOL; SUKHAMWANG, 2009), e o baixo contraste observado entre elas e o tecido da mama (LADO et al., 1999; STRICKLAND; HAHN, 1995). Assim, o desenvolvimento de sistemas computacionais pode auxiliar médicos na classificação de microcalcificações, servindo como uma segunda opinião sobre o tipo de cada microcalcificação detectada em uma mamografia.

## 1.2 SISTEMAS DE APOIO AO DIAGNÓSTICO

A utilização de sistemas computadorizados de apoio ao diagnóstico – *Computer Aided Diagnosis (CAD) Systems* – auxilia no diagnóstico de doenças, contribuindo para a medicina de forma geral e também para o aumento da qualidade e da expectativa de vida dos pacientes.

Em relação às mamografias digitais e às microcalcificações localizadas nas mamas, é possível desenvolver sistemas para auxiliar médicos no diagnóstico precoce do câncer de mama. Uma das formas de ajudar médicos na identificação das microcalcificações, ao visualizar as mamografias digitais, é através do realce das imagens, na tentativa de aumentar o contraste entre as microcalcificações e o tecido da mama em sua volta, possibilitando assim uma melhor visualização desses elementos.

Apresentam-se como exemplos os trabalhos realizados por Scharcanski e Jung (2006), Cherifi, Beghdadi e Belbachir (2008), Sahba e Venetsanopoulos (2008), Wu et al. (2010), Song et al. (2010), Yadav, Singh e Singh (2011) e Mustra, Grgic e Delac (2012).

Outra forma de auxiliar os médicos na detecção precoce do câncer de mama é através da criação de sistemas que auxiliam na detecção e na classificação das microcalcificações encontradas em imagens de mamografias digitais, podendo ser utilizados como uma segunda opinião por um médico responsável por analisar uma mamografia. Diversos sistemas dessa forma foram desenvolvidos, como o trabalho de Dhawan et al. (1991), onde foi proposta a utilização de uma rede neural artificial para a classificação de imagens de mamografias em três tipos: maligna contendo microcalcificações, benigna contendo microcalcificações e não contendo microcalcificações. Para isso foi utilizado uma rede Perceptron (HAYKIN, 1999) de três camadas, cuja entrada é formada pelas seguintes informações obtidas a partir da imagem: entropia, contraste, momento de segunda ordem e um valor probabilístico baseado na ocorrência de determinadas tonalidades na imagem. Os resultados, segundo os autores, indicam que a entropia é importante para a classificação, porém, o sistema desenvolvido analisa as imagens como um todo, e não apenas as imagens das microcalcificações.

Pereira (1995) propôs um método inédito para classificar os cinco tipos de microcalcificações através da utilização da transformada de Hough (CHEN; SU; SUN, 2012), uma transformada que é capaz de detectar objetos que sejam parametrizáveis (como, por exemplo, uma reta ou um círculo) em uma imagem. A utilização dessa transformada, através da detecção de círculos e retas, permitiu uma classificação satisfatória das microcalcificações, exceto as do tipo II e IV, que não foram muito bem classificadas (PEREIRA, 1995).

Ferreira e Borges (2003) utilizaram a transformada *wavelet* (ADDISON, 2002) para extrair características e classificar alguns elementos da mama, entre eles, as microcalcificações. O método desenvolvido aplica a transformada *wavelet* até o quarto nível, e apenas os coeficientes de detalhes obtidos no segundo nível da aplicação da transformada são utilizados. Desses coeficientes, os que possuem os maiores valores são utilizados como uma assinatura. Foram utilizados de 100 a 500 coeficientes. Assim, ao analisar uma nova imagem, os coeficientes obtidos dessa imagem são verificados com a média das assinaturas previamente conhecidas, através do cálculo da distância euclidiana entre os coeficientes da imagem analisada e os coeficientes já conhecidos, sendo que a classificação é feita encontrando-se a menor distância entre a imagem de entrada e as classes analisadas. Os resultados obtidos mostraram que a utilização da *wavelet* de Daubechies de suporte quatro (DAUBECHIES, 1992) é mais eficiente que a utilização da *wavelet* de Haar, porém o trabalho apresentado não classifica as microcalcificações em cada um de seus tipos, apenas as classificam como microcalcificações, separadamente dos demais elementos presentes na imagem da mama.

Hernández-Cisneros e Terashima-Marín (2006) criaram um sistema que utiliza redes neurais artificiais juntamente com algoritmos genéticos para classificar agrupamentos de microcalcificações em mamografias digitais em duas classes: malignos e benignos. Inicialmente é aplicada a filtragem da mediana para remover os ruídos da imagem e aplica-se a operação de binarização para remover o fundo da imagem, deixando apenas as regiões de interesse. Identificada cada região de interesse, as características como contraste e formato são utilizadas como entrada de uma rede neural, que identifica se a região é uma microcalcificação. Em seguida, as microcalcificações encontradas são agrupadas em *clusters* de acordo com a distância entre elas, e informações desses agrupamentos são analisadas para classificá-los em malignos ou benignos. As informações extraídas de cada um dos agrupamentos dizem respeito ao contraste, à área e ao formato das microcalcificações, e são utilizadas como a entrada de outra rede neural, que utiliza algoritmos genéticos para encontrar os pesos iniciais ótimos dessa rede. Os resultados obtidos pelos autores sugerem que em termos de sensibilidade não há diferenças entre as redes neurais convencionais e as evolucionárias.

Dócusse, Pereira e Marranghello (2009) desenvolveram um sistema capaz de classificar as bordas de microcalcificações em lisas ou rugosas utilizando a transformada *wavelet*. Inicialmente, a imagem de cada microcalcificação é decomposta até o primeiro nível dessa transformada utilizando a *wavelet* de Haar, e em seguida, as altas frequências dessa

imagem são removidas, de forma a alterar a percepção da visualização da imagem, o que possibilita, através de um classificador criado pelos autores, classificar as bordas das microcalcificações em lisas ou rugosas. Como o formato das bordas é a principal diferença entre as microcalcificações dos tipos II e IV definidos por Le Gal, o método proposto pode ser utilizado para ajudar na classificação desses dois tipos de microcalcificações.

Tirtajaya e Santika (2010) propuseram um sistema para classificar como malignas ou benignas as microcalcificações encontradas na mama utilizando-se da transformada contínua *wavelet* para extrair as características das imagens, e de *Support Vector Machine* (SVM) (HAYKIN, 1999) para classificar a imagem da microcalcificação da qual as características foram extraídas. As características extraídas com a utilização da transformada *wavelet*, que são utilizadas como entrada da SVM, são o desvio padrão e a média de cada uma das imagens de alta frequência obtidas ao se aplicar a transformada *wavelet*. Apesar dos resultados satisfatórios, o método proposto classifica as imagens como um todo, e não apenas as microcalcificações encontradas nas imagens.

Lahmiri e Boukadoum (2011) propuseram um sistema que distingue mamografias entre normais e contendo microcalcificações malignas. Para isso, foi utilizada a transformada *wavelet* para extrair a imagem formada pelas altas frequências da mamografia, e a transformada de Radon (DEANS, 2007) para coletar informações sobre essa imagem, que são utilizadas como entrada de uma SVM que realiza a classificação das imagens de entrada. Segundo os autores, os resultados são mais eficientes utilizando as duas transformadas do que quando apenas uma transformada é utilizada. No entanto, também nesse caso, é utilizada informação da imagem como um todo, e não apenas informações das microcalcificações. Nesse trabalho, as microcalcificações não são classificadas como pertencentes a algum tipo, apenas a imagem é classificada como normal ou contendo microcalcificações malignas.

Dheeba e Selvi (2011) propuseram um sistema para classificar agrupamentos de microcalcificações na tentativa de classificar mamografias como normais ou anormais. Foi desenvolvido um sistema utilizando SVM como classificador, que utiliza como entrada informações sobre a textura da imagem, inicialmente realçada através da utilização da operação de dilatação (GONZALEZ; WOODS, 2010). Apesar de apresentar boa taxa de acerto, o sistema desenvolvido apenas classifica as mamografias em normais e anormais, não classificando as microcalcificações separadamente.

Huddin, Ng e Abbott (2011) propuseram um sistema para classificar agrupamentos de microcalcificações em malignos ou benignos através da utilização da transformada *steerable pyramid*. O sistema desenvolvido utiliza alguns parâmetros extraídos de regiões de interesse

marcadas inicialmente pelo usuário, como energia e entropia. Os parâmetros extraídos são utilizados como entrada de uma SVM que realiza a classificação desses agrupamentos. Assim como em outros trabalhos, esse trabalho ficou restrito a apenas realizar a classificação das imagens em maligno e benigno, e não nos tipos de microcalcificações existentes.

### 1.3 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS EM DISPOSITIVOS EMBARCADOS

O desenvolvimento de sistemas em dispositivos embarcados visa produzir equipamentos com menor custo (CHO et al., 2007), menor consumo de energia (CHO et al., 2007; TTOFIS; THEOCHARIDES, 2012), menor espaço necessário (CHO et al., 2007) e maior flexibilidade do sistema (JINGHONG; RIQING; XIAOHUI, 2011). Em alguns casos, desenvolvem-se sistemas em dispositivos embarcados devido à necessidade de processamento em tempo real (JINGHONG; YALING; KUN, 2007).

Neste trabalho, buscou-se investigar o desenvolvimento em dispositivos baseados em *Field Programmable Gate Array* (FPGA), um tipo de circuito lógico reprogramável. No entanto, outras arquiteturas podem também ser investigadas, como os processadores digitais de sinais e a arquitetura *Advanced RISC Machine* (ARM), entre outras.

Alguns sistemas CAD vêm sendo desenvolvidos tendo em vista a sua execução em dispositivos baseados em FPGA, como o sistema que auxilia no diagnóstico inicial de doenças de um paciente, cujo consumo de energia chega a apenas 0,5% do consumo de um *notebook* moderno, e cujo custo foi de 20% em relação a um *notebook* barato (CHOWDHURY; SAHA, 2010).

Outro sistema CAD desenvolvido para ser executado em dispositivo baseado em FPGA é o sistema que auxilia no realce de imagens de radiologias, cujos resultados apresentaram tempos de execução menores que quando executados em computadores convencionais (SAADI; GUESSOUM; BETTAYEB, 2012). Além dos sistemas CAD, diversos sistemas que processam imagens estão sendo desenvolvidos para serem executados em FPGA, como o sistema que utiliza a transformada *wavelet* para compressão de imagens (PARVATHAM; GOPALAKRISHNAN, 2012), o sistema para detecção de bordas em imagens (MATURANA, 2010) e o sistema para binarização em tempo real de imagens capturadas por uma câmera (FREITAS, 2012).

No entanto, nenhum dos trabalhos citados propôs a criação de um sistema CAD para a classificação de microcalcificações a ser executado em FPGA.

## 1.4 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de apoio ao diagnóstico para classificar as microcalcificações detectadas em imagens de mamografias digitais em um dos cinco tipos propostos por Michèle Le Gal, para auxiliar médicos no diagnóstico precoce do câncer de mama. O sistema foi desenvolvido para ser executado em um dispositivo do tipo FPGA, de forma a aproveitar as vantagens oferecidas por essa arquitetura.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

De acordo com Le Gal, a classificação das microcalcificações que aparecem nas mamas pode auxiliar médicos no diagnóstico precoce do câncer de mama, que é a forma mais rápida e eficiente de garantir a sobrevivência de pacientes que possuem essa doença. Dentre os sistemas estudados no decorrer deste trabalho, apenas em um (PEREIRA, 1995) é feita essa classificação, sendo que os demais apenas classificam as imagens como um todo entre malignas ou benignas, e, apesar de apresentar resultados satisfatórios, não realizam a classificação específica de cada uma das microcalcificações. Apesar do sistema desenvolvido por Pereira (1995) obter sucesso na classificação de quase todos os tipos de microcalcificações, não foi satisfatória a classificação das microcalcificações dos tipos II e IV, cujas diferenças ocorrem nas bordas. Cabe salientar que as microcalcificações do tipo II possuem bordas lisas e as do tipo IV possuem bordas rugosas.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível perceber que todos os sistemas estudados foram projetados para serem executados em computadores comuns, como *desktops* (computadores de mesa) ou então *laptops* (computadores de colo).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, são utilizados cada vez mais equipamentos menores, como celulares “inteligentes”, *tablets*, entre outros, que facilitam e tornam mais prática a sua utilização por parte do usuário.

Em relação aos sistemas CAD, nota-se que estão sendo desenvolvidos para serem executados em dispositivos baseados em FPGA, cujas vantagens principais são o menor custo (CHO et al., 2007), menor consumo de energia (TTOFIS; THEOCHARIDES, 2012) e maior flexibilidade do sistema (JINGHONG; RIQING; XIAOHUI, 2011). No entanto, não foi encontrado um sistema CAD para o auxílio na classificação de microcalcificações que fosse executado em dispositivo baseado em FPGA.

Com a possibilidade de utilizar tecnologias embarcadas, é possível criar equipamentos que sejam mais baratos e que consomem menor quantidade de energia, o que pode auxiliar na medicina pública, pois seria possível comprar mais equipamentos, e assim atender mais pacientes, melhorando a qualidade de vida da população como um todo.

Dessa forma, o trabalho realizado possui como contribuições principais:

- a) o desenvolvimento de um sistema CAD que realize a classificação correta de microcalcificações em um dos cinco tipos propostos por Michèle Le Gal, de forma a auxiliar os médicos no diagnóstico precoce do câncer de mama;
- b) o desenvolvimento de um sistema CAD para ser executado em um dispositivo baseado em FPGA, de forma a aproveitar as vantagens oferecidas por essa plataforma, como menor consumo de energia, menor custo e maior flexibilidade, de acordo com a tendência de utilização de equipamentos menores e mais eficientes em relação ao consumo de energia.

## 1.6 DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO

O desenvolvimento do sistema proposto utilizou a linguagem C++, sendo executado em uma placa Altera DE2-115 que possui uma FPGA configurada com um *hardware* personalizado, baseado no processador Altera Nios II. O sistema utiliza a transformada *wavelet* para detectar *pixels* das microcalcificações na imagem de entrada armazenada em um cartão de memória do tipo *Secure Disk* (SD). Utilizou-se um algoritmo de crescimento de região para detectar toda a área das microcalcificações.

Em seguida, uma rede neural artificial composta por três camadas, que utiliza como entrada quatro informações extraídas sobre cada microcalcificação, é utilizada para classificar cada microcalcificação detectada em um dos cinco tipos definidos por Le Gal, ou então em um tipo indefinido.

As características extraídas de cada microcalcificação são: o valor médio de nível de cinza, o valor de área, o coeficiente de rugosidade e a razão entre o seu comprimento e a sua largura.

Durante a realização deste projeto, não foi encontrado nenhum trabalho similar que utilize as mesmas entradas para a rede neural artificial.

As imagens de entrada são armazenadas em um cartão de memória que deve ser inserido no leitor de cartões da placa DE2-115 para que o usuário escolha a imagem a ser processada. A saída de dados é feita também no mesmo cartão de memória.

O sistema desenvolvido foi analisado utilizando-se imagens reais e simuladas, sendo que os resultados obtidos através do processamento das imagens reais indica uma correta classificação das microcalcificações, e os resultados obtidos através do processamento das imagens simuladas indicam 92,50 % de eficiência na classificação das microcalcificações analisadas.

## 1.7 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O texto está dividido de acordo com os seguintes capítulos:

No capítulo 2 é descrito o desenvolvimento do sistema, tanto do *hardware* projetado quanto do *software* desenvolvido;

No capítulo 3, os resultados obtidos através da utilização do sistema desenvolvido são apresentados e discutidos;

No capítulo 4 são feitas as conclusões do trabalho e as propostas de trabalhos futuros, e a este capítulo se seguem as referências bibliográficas utilizadas no decorrer deste texto;

No apêndice A são apresentados os coeficientes das *wavelets* utilizados no desenvolvimento deste trabalho;

No apêndice B é apresentado um pequeno manual contendo informações básicas para o desenvolvimento de sistemas na linguagem C++, utilizando a placa DE2-115.

## 1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DESTE CAPÍTULO

O diagnóstico precoce é fundamental para aumentar a expectativa de vida dos pacientes que sofrem de câncer de mama, e uma das formas de auxiliar nessa tarefa é através da criação de sistemas de apoio ao diagnóstico, que podem ser utilizados por médicos para obter uma segunda opinião sobre exames realizados em pacientes.

Neste capítulo foi apresentada a proposta deste trabalho, que foi desenvolver um sistema embarcado de apoio ao diagnóstico que realize a classificação de microcalcificações em mamografias digitais em um dos cinco tipos propostos por Michèle Le Gal, a fim de auxiliar os médicos no diagnóstico precoce dessa doença, e assim, aumentar a expectativa e a qualidade de vida de pacientes.

No próximo capítulo detalha-se o sistema desenvolvido durante a realização deste trabalho, onde são apresentados o *hardware* projetado, configurado na placa DE2-115, e o

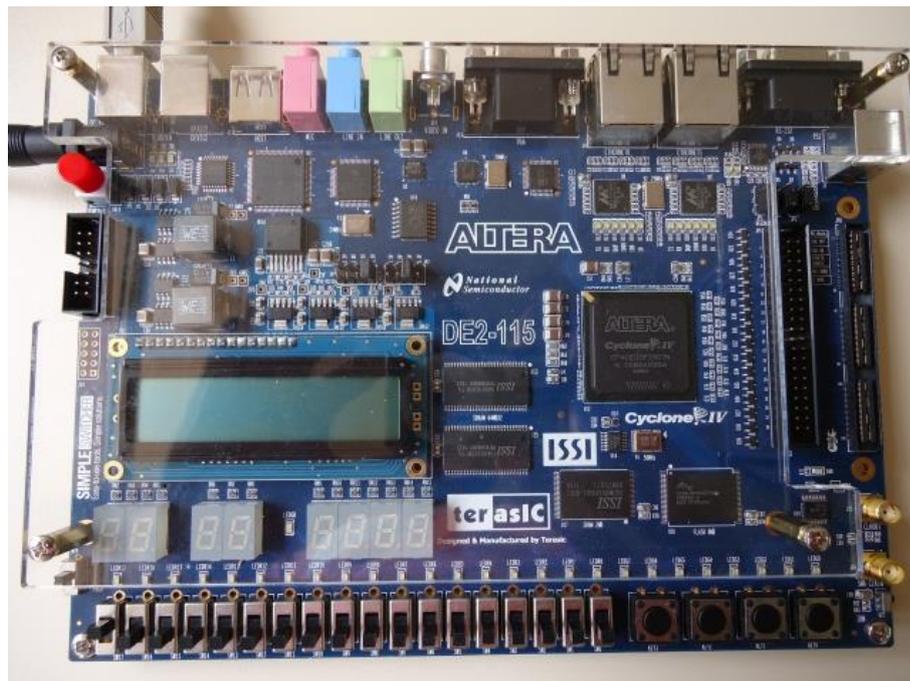
*software* desenvolvido, responsável por classificar as microcalcificações nas imagens processadas.

## 2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O desenvolvimento de aplicações de processamento de imagens em dispositivos embarcados possui duas fases, a fase de desenvolvimento do *hardware* e a fase do desenvolvimento do algoritmo de processamento de imagens, a ser executado nesse *hardware* (SHEWRING; WAHAB, 1995). Neste capítulo são detalhadas essas duas fases, iniciando pelo desenvolvimento do *hardware*.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema embarcado que utiliza uma placa Altera DE2-115, cujo principal componente é uma FPGA. Uma imagem da placa DE2-115 utilizada pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Placa DE2-115 utilizada no desenvolvimento do sistema proposto.



Fonte: Elaboração do autor.

A placa DE2-115 possui uma FPGA da fabricante Altera, modelo Cyclone IV EP4CE115F29C7 (ALTERA CORPORATION, 2013a). Esta placa possui diversos componentes, sendo que nem todos foram utilizados no sistema desenvolvido. Os componentes da placa DE2-115 que foram utilizados no sistema desenvolvido são listados a seguir:

- a) dispositivo FPGA Altera modelo Cyclone IV EP4CE115F29C7;
- b) memória de 128 MB do tipo *Synchronous Dynamic Random Access Memory* (SDRAM), dividida em dois *chips* de 64MB cada;
- c) visor do tipo *Liquid Crystal Display* (LCD) alfanumérico com 2 colunas de 16 caracteres;
- d) quatro botões de pressão (*push buttons*);
- e) leitor para cartão SD.

A FPGA presente na placa DE2-115 foi configurada com o *hardware* projetado. Para fazer o projeto do *hardware*, foi utilizado o *software* Altera Quartus II na sua versão 12.0 sp2 *web edition* (ALTERA CORPORATION, 2013b), e para poder configurar o leitor de cartões SD e os botões de pressão no sistema desenvolvido, foi necessário instalar o pacote de blocos de propriedade intelectual universitário da Altera na sua versão 12.0 (ALTERA CORPORATION, 2013c). Ambos são gratuitos e estão disponíveis para serem transferidos no *site* da Altera.

O *hardware* foi modelado utilizando a linguagem de descrição de *hardware* Verilog (GROUT, 2008), através da utilização do ambiente SOPC Builder, que está presente no Quartus II. Através da utilização desse ambiente é possível escolher os componentes integrantes do *hardware* projetado, gerando automaticamente os códigos-fonte desse sistema na linguagem Verilog. Na Figura 3 é possível visualizar uma captura de tela do SOPC Builder contendo os componentes do *hardware* projetado.

Figura 3 – Componentes do *hardware* projetado.

Conn...	Name	Description
[ ]	<b>cpu_0</b>	Nios II Processor
	instruction_master	Avalon Memory Mapped Master
	data_master	Avalon Memory Mapped Master
	jtag_debug_module	Avalon Memory Mapped Slave
[ ]	<b>jtag_uart_0</b>	JTAG UART
	avalon_jtag_slave	Avalon Memory Mapped Slave
[ ]	<b>sdram_0</b>	SDRAM Controller
	s1	Avalon Memory Mapped Slave
[ ]	<b>Pushbuttons</b>	Parallel Port
	avalon_parallel_port_slave	Avalon Memory Mapped Slave
[ ]	<b>SD_Card</b>	SD Card Interface
	avalon_sdcard_slave	Avalon Memory Mapped Slave
[ ]	<b>lcd_display</b>	Character LCD
	control_slave	Avalon Memory Mapped Slave

Fonte: Elaboração do autor.

O *hardware* projetado é baseado em um processador de arquitetura *Reduced Instruction Set Computer* (RISC), que na Figura 3 é representado pelo componente denominado “cpu\_0”. Foi utilizado o núcleo II/f desse processador, pois é o que oferece maior desempenho em relação aos outros núcleos (ALTERA CORPORATION, 2011a).

Como memória principal utilizou-se dois *chips* de memória SDRAM, representados na Figura 3 pelo componente “sdram\_0”. O componente denominado “Pushbuttons” representa uma porta paralela utilizada para realizar a comunicação com os quatro botões de pressão contidos na placa DE2-115.

O componente “SD\_Card” representa a interface de comunicação com o leitor de cartões SD, e o componente “LCD\_Display” representa o controlador do LCD.

O componente “jtag\_uart\_0” é opcional, e foi utilizado para receber informações da placa em tempo de execução no ambiente de desenvolvimento através do cabo *Universal Serial Bus* (USB) conectado à placa, cuja finalidade é configurar a placa. Esse componente foi utilizado apenas para auxiliar na depuração do sistema durante seu desenvolvimento e nas etapas de validação e testes.

A configuração do *hardware* cujos componentes são apresentados na Figura 3 foi gerado automaticamente pelo SOPC Builder na linguagem Verilog.

Na Tabela 1 é apresentada a quantidade de elementos lógicos, funções combinacionais, registradores lógicos dedicados, registradores, pinos, pinos virtuais e *bits* de memória utilizados na compilação do *hardware* projetado, de acordo com o *software* Quartus II.

Tabela 1 – Resultado da compilação do *hardware* projetado apresentado pelo *software* Quartus II.

Nome	Utilização	Total	Porcentagem
Elementos lógicos	5.080	114.480	4,44%
Funções combinacionais	4.410	114.480	3,85%
Registradores lógicos dedicados	3.089	114.480	2,70%
Registradores	3.208	-	-
Pinos	82	529	15,5%
Pinos virtuais	0	-	-
<i>Bits</i> de memória	69.760	3.981.312	1,75%

Fonte: Elaboração do autor

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que a FPGA presente na placa DE2-115 possui muito mais recursos do que o *hardware* projetado necessita, indicando que uma

FPGA mais simples e mais barata poderia ser utilizada, diminuindo o custo de um equipamento desenvolvido para executar este sistema.

Após o projeto do *hardware*, desenvolveu-se o *software* de processamento de imagens, campo da ciência que se refere ao processamento de imagens digitais por um equipamento digital (GONZALEZ; WOODS, 2010).

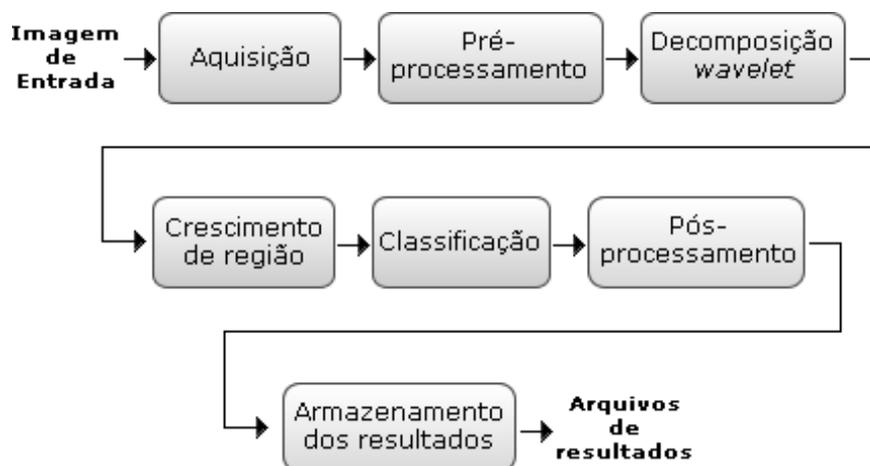
Como a FPGA foi configurada com um processador, o *software* desenvolvido é executado no processador configurado na FPGA. Na seção a seguir são descritas as etapas gerais do *software* de processamento de imagens desenvolvido.

## 2.1 DESCRIÇÃO GERAL DAS ETAPAS DO SOFTWARE

Um sistema de processamento digital de imagens pode ser estruturado em algumas etapas, como aquisição, restauração, segmentação, extração de características, classificação e decisão (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008). Porém, alguns sistemas não necessariamente possuem todas essas etapas.

O *software* do sistema desenvolvido foi estruturado em sete etapas, denominadas de Aquisição, Pré-Processamento, Decomposição *wavelet*, Crescimento de Região, Classificação, Pós-Processamento e Armazenamento dos resultados. A entrada do sistema é uma imagem escolhida pelo usuário e a saída é um conjunto de arquivos contendo o resultado do processamento da imagem de entrada. A ordem de procedência das etapas do *software* desenvolvido pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Esquematisação geral do *software* desenvolvido.



Fonte: Elaboração do autor.

O *software* desenvolvido foi escrito na linguagem C++ utilizando inicialmente o ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual C++ 2010 Express, e posteriormente foi adaptado para o Altera Nios II Embedded Design Suite, de forma a gerar um código executável no processador Nios II. Esse ambiente é instalado juntamente com a instalação do Quartus II 12.0, porém, para que *softwares* escritos na linguagem C++ possam ser executados no Nios II, é necessária a instalação do *software Nios II Embedded Design Suite Legacy Tools*, disponível gratuitamente no *site* da Altera (ALTERA CORPORATION, 2013d).

A linguagem C++ foi escolhida por ser uma das linguagens possíveis de se programar para que o código seja executado no Nios II, e também pela facilidade de reutilização apresentada pelas linguagens orientadas a objetos. O padrão da linguagem utilizado foi o do *American National Standards Institute* (ANSI). A única parte do *software* que não foi desenvolvida neste projeto é a transformada *wavelet*, sendo utilizada implementação obtida em (GUIDO; 2010).

O *software* foi projetado em classes, sendo que cada classe foi criada em um arquivo com o seu nome, de forma a facilitar a manutenção e a procura das classes e seus métodos. Para facilitar a manutenção do código, o *software* possui duas camadas, onde as operações são desenvolvidas como métodos de uma classe e a aplicação apenas realiza chamadas para esses métodos, evitando a programação de operações no código do programa principal, o que facilita a manutenção e o reuso do código desenvolvido. A documentação foi feita utilizando o *software* Doxygen, um sistema gratuito para a documentação de sistemas de *software*.

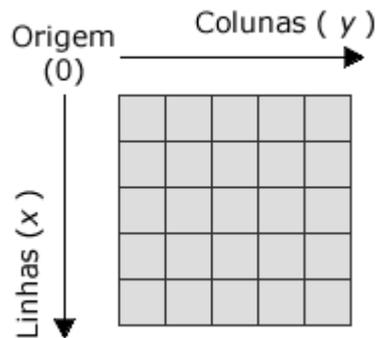
O *software* desenvolvido é executado sobre o *hardware* projetado, configurado na FPGA presente na placa DE2-115. A programação do *software* para a sua execução no Nios II é feita através do Nios II Embedded Design Suite. Esse *software* provê ao desenvolvedor uma forma de escrever programas nas linguagens C/C++ para o processador Nios II, e cria automaticamente um pacote para suporte a placas (*Board Support Package – BSP*) que faz a comunicação do *software* com o processador Nios II, através de uma camada de abstração de *hardware* denominada Altera *Hardware Abstraction Layer* (HAL). No apêndice B apresentam-se os passos necessários para a criação de um projeto na linguagem C++ que seja executável em um processador Nios II (ALTERA CORPORATION, 2011b), bem como exemplos de *softwares* programados na linguagem C++ que utilizam o LCD, o leitor de cartões SD e os botões de pressão da placa DE2-115.

Nas próximas seções é detalhado o desenvolvimento de cada uma das etapas do *software* desenvolvido.

## 2.2 ETAPA DE AQUISIÇÃO

A etapa de aquisição possui como objetivo acessar os dados da imagem selecionada pelo usuário e transformá-los em um formato mais adequado para processar a imagem. Uma imagem digital é o resultado dos processos de amostragem e quantização de uma cena observada por uma câmera, sendo que na amostragem digitalizam-se os valores de coordenadas, e na quantização digitalizam-se os valores de amplitude, resultando em uma matriz de valores, onde cada posição é denominada *pixel* (GONZALEZ; WOODS, 2010). Dessa forma, uma imagem digital pode ser representada por uma matriz de valores. Um esquema de matriz de uma imagem digital visualizada através de seus *pixels* pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de uma matriz usada para representar uma imagem digital.



Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 5 é apresentado um esquema de uma imagem monocromática, que é uma imagem que possui variações de apenas uma tonalidade de cor, normalmente o cinza, que varia entre o branco e o preto em certa quantidade de tons, chamadas de tonalidades de cinza. A máxima quantidade de tons possível de ser representada por uma imagem digital é chamada de escala de cinza, e esse valor é definido em *bits*, como por exemplo, 8 *bits* (256 possíveis tons de cinza), 6 *bits* (64 possíveis tons de cinza), entre outros, calculado elevando-se 2 à potência que representa o número de *bits* utilizados por *pixel* na imagem.

Imagens coloridas são normalmente representadas por mais de uma matriz de valores, de acordo com o sistema de cores utilizado. No entanto, esse tipo de imagem não faz parte do escopo deste trabalho, e por isso será usado, a partir deste ponto, o termo imagem para representar uma imagem digital monocromática.

Uma imagem é armazenada em um equipamento computacional como uma cadeia de dados binários utilizando algum formato de arquivo de imagem, que define como os dados serão armazenados e a forma de compressão que será utilizada (GONZALEZ; WOODS, 2010), para diminuir o espaço de armazenamento e possibilitar a utilização dessas imagens entre equipamentos de diversos fabricantes (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008). Existem diversos formatos de arquivo de imagem, como o *Graphics Interchange Format* (GIF), o *Tagged Image File Format* (TIFF), o *Joint Photographic Experts Group* (JPEG), entre outros. Porém, como as imagens disponíveis para a realização deste trabalho estão no formato *Personal Computer eXchange* (PCX), foi utilizado esse formato de arquivo como o padrão de imagem.

Dessa forma, a etapa de aquisição é responsável por ler as informações do arquivo da imagem de entrada e transformá-las em uma matriz digital, que será utilizada pelo restante das etapas de processamento.

O formato PCX define que toda imagem deve possuir um cabeçalho (*header*) de 128 *bytes* (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008), onde são armazenadas informações sobre essa imagem, e, após o cabeçalho, são armazenadas as informações sobre os valores dos *pixels* da imagem. As informações do cabeçalho de um arquivo PCX são apresentadas em ordem sequencial de armazenamento na Tabela 2 (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008; TED GRUBER SOFTWARE, 2001a).

Através dos valores de posição mínima de altura ( $x_{min}$  – quinto e sexto *byte* do cabeçalho) e posição máxima de altura ( $x_{max}$  – nono e décimo *byte* do cabeçalho), é possível encontrar a quantidade de linhas da imagem, denominado de  $D_x$ , definida de acordo com a equação (1). Através dos valores de posição mínima de largura ( $y_{min}$  – sétimo e oitavo *byte* do cabeçalho) e posição máxima de largura ( $y_{max}$  – décimo primeiro e décimo segundo *byte* do cabeçalho), é possível encontrar a quantidade de colunas da imagem, denominado de  $D_y$ , definida de acordo com a equação (2).

$$D_x = x_{max} - x_{min} + 1 \quad (1)$$

$$D_y = y_{max} - y_{min} + 1 \quad (2)$$

Tabela 2 – Cabeçalho de um arquivo PCX.

<b>Tamanho (bytes)</b>	<b>Descrição</b>
1	Deve sempre possuir o valor A0 em hexadecimal.
1	Número da versão Paintbrush.
1	Valor de compressão, que deve ser sempre 1.
1	Número de bits de cada <i>pixel</i> em um plano.
2	Valor mínimo de altura.
2	Valor mínimo de largura.
2	Valor máximo de altura.
2	Valor máximo de largura.
2	Resolução horizontal da imagem para impressão (impreciso).
2	Resolução vertical da imagem para impressão (impreciso).
48	Paleta de cores se o arquivo representar até 16 cores.
1	Valor reservado, que deve ser sempre 0.
1	Número de planos da imagem.
2	Quantidade de <i>bytes</i> em cada linha da imagem.
2	Indica se a imagem é colorida ou em níveis de cinza (impreciso).
2	Resolução de tela horizontal menos 1 (impreciso).
2	Resolução de tela vertical menos 1 (impreciso).
54	Reservado, deve ser sempre 0.

Fonte: Conci, Azevedo e Leta (2008).

Após obter esses valores, é possível determinar o tamanho da imagem, definido em colunas por linhas, para criar uma estrutura dinâmica em memória com as mesmas dimensões do tamanho da imagem de entrada. Esse tamanho é definido como  $D_y$  por  $D_x$  *pixels*.

A obtenção das demais informações do cabeçalho PCX, apresentadas na Tabela 2, é feita sem cálculos, através apenas da leitura do arquivo da imagem.

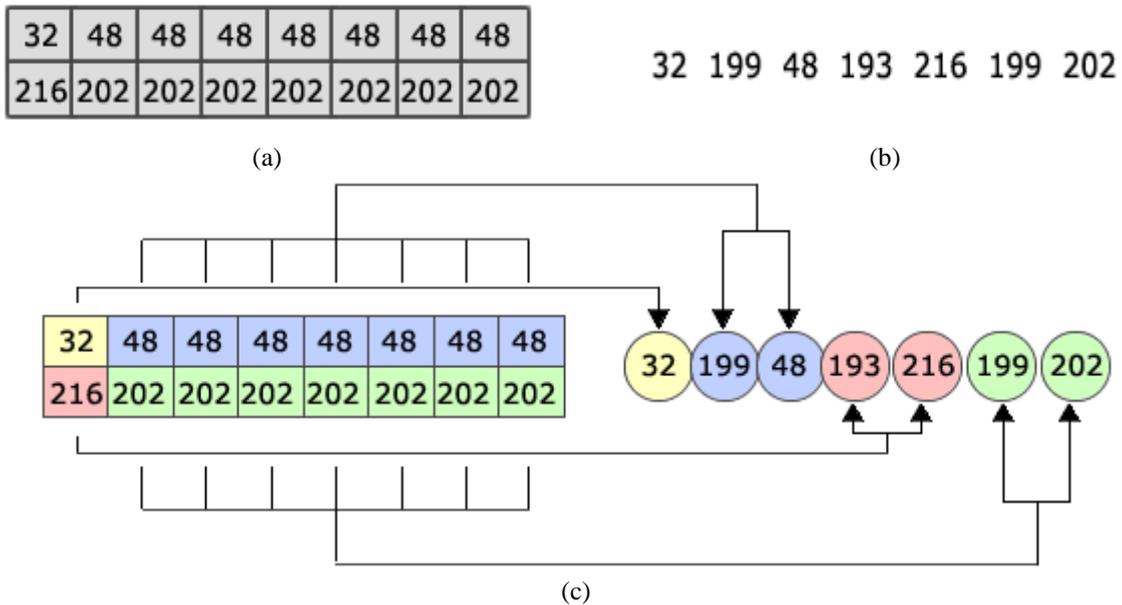
Após os dados do cabeçalho, são armazenadas no arquivo informações referentes aos valores de cada *pixel* da imagem, que podem estar comprimidos para reduzir o espaço em memória necessário para armazenar esse arquivo. O formato de arquivos PCX utiliza a compressão *Run Length Encoding* (RLE) para armazenar essas informações, representando

cada linha da imagem por sequências de *pixels* que possuem a mesma tonalidade (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008). Esse armazenamento é feito da maneira descrita a seguir:

- a) armazena-se a informação da primeira linha da imagem, seguida da informação da segunda linha, depois da terceira, e assim sucessivamente, até o valor da última linha da imagem;
- b) as informações sobre cada linha da imagem são armazenadas em  $N$  bytes, sendo o valor de  $N$  armazenado no cabeçalho da imagem, nos bytes 67 e 68;
- c) o quarto byte do cabeçalho da imagem indica a quantidade de bits utilizada na escala de cinza da imagem; no caso deste trabalho, o valor é 8, ou seja, cada *pixel* pode possuir valores entre 0 (preto) e 255 (branco). Nesta situação, a compressão é feita da seguinte forma:
  - para valores de *pixel* inferiores a 192, quando aparecem apenas uma vez consecutiva na linha, apenas o seu valor é armazenado, ocupando um byte de informação;
  - para valores de *pixel* inferiores a 192, quando aparecem de maneira consecutiva na linha, são armazenados dois valores de um byte cada. O primeiro representa a quantidade de vezes que esse *pixel* é repetido, acrescido do valor 192, e o segundo representa o valor do *pixel* que se repete;
  - para valores de *pixel* superiores ou iguais a 192, sempre são armazenados dois bytes. O primeiro byte representa a quantidade de vezes que o *pixel* é repetido, acrescido do valor 192 (padrão do formato de arquivos PCX), e o segundo byte representa o valor do *pixel*, independentemente se aparece de forma consecutiva na linha.

Na Figura 6 é apresentado um exemplo de valores que representam uma imagem e o armazenamento dos valores de seus *pixels* ao utilizar o formato de arquivos PCX. Nesta figura, em (a), é apresentada a matriz de valores desta imagem, de tamanho 2 x 8 *pixels*, com os valores de seus *pixels* representados como números dentro de cada elemento da matriz. Nesta mesma figura, em (b), são apresentados os valores dos bytes resultantes do armazenamento dos valores dos *pixels* desta imagem ao se utilizar o formato de arquivos PCX, e em (c), é apresentada a correspondência de cada *pixel* da imagem com os valores resultantes.

Figura 6 – Exemplo de armazenamento dos valores dos *pixels* de uma imagem utilizando o formato PCX.



Fonte: Elaboração do autor.

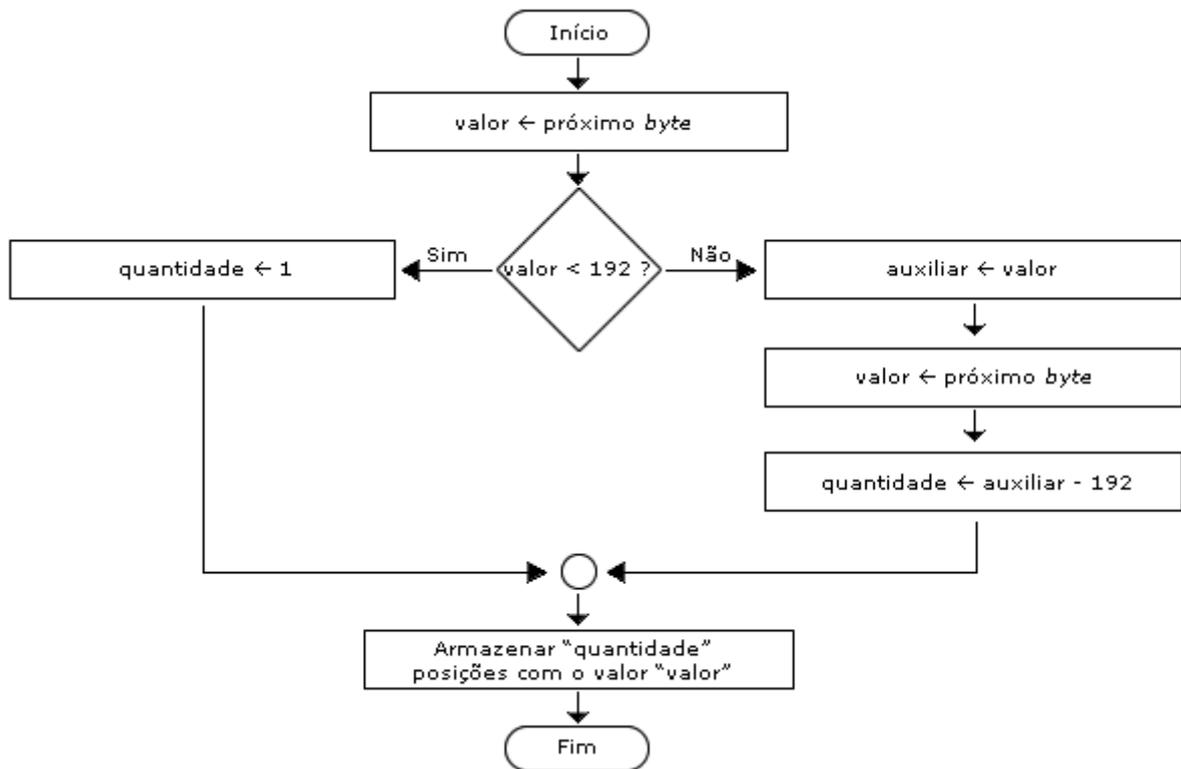
Através da visualização da Figura 6 é possível perceber que o primeiro *pixel*, de valor 32, resulta em apenas um *byte* no arquivo comprimido, pois possui valor inferior a 192 e não possui seu valor repetido no próximo *pixel*. O próximo *pixel* dessa linha, 48, possui seu valor repetido por sete vezes. Dessa forma, tem-se dois *bytes* armazenados no arquivo gerado, o primeiro *byte* indicando que sete *pixels* possuem o mesmo valor, acrescido do valor 192 ( $7 + 192 = 199$ ), e o segundo *byte* indicando o valor que se repete sete vezes (48).

Na segunda linha, o primeiro *pixel* possui valor 216, e por ser superior a 192, resulta na utilização de dois *bytes* no arquivo, o primeiro *byte* indicando que esse valor se repete uma vez, acrescido do valor 192 ( $1 + 192 = 193$ ), e o segundo *byte* indicando o valor do *pixel* (216). Após esse *pixel* na segunda linha da imagem, o valor 202 se repete por sete vezes, o que resulta no armazenamento de dois novos *bytes*, o primeiro *byte* indicando que o *pixel* se repete sete vezes, acrescido do valor 192 ( $7 + 192 = 199$ ), e o segundo *byte* indicado o valor do *pixel* que é repetido (202).

No exemplo da Figura 6, se os valores dos *pixels* fossem armazenados de forma individual, seriam necessários 16 *bytes* de espaço de armazenamento necessários para armazenar apenas a informação referente aos valores dos *pixels* dessa imagem. Utilizando-se o formato de arquivos PCX, essas informações necessitam de apenas 7 *bytes* de espaço de armazenamento.

Na Figura 7 é apresentado um diagrama de blocos para a leitura da informação de um *pixel* em uma imagem no formato PCX, para uma linha qualquer da imagem.

Figura 7 – Diagrama de blocos para a leitura da informação de um *pixel* em uma imagem no formato PCX.



Fonte: Elaboração do autor.

A saída da etapa de aquisição é uma matriz dinâmica bidimensional de números reais que armazena os valores dos *pixels* da imagem de entrada, possibilitando a aplicação de operações a fim de realizar alguma forma de processamento nessa imagem. Após a finalização dessa etapa, executa-se a etapa de pré-processamento.

### 2.3 ETAPA DE PRÉ-PROCESSAMENTO

O objetivo da etapa de pré-processamento é preparar a imagem de entrada para um conjunto de operações que serão aplicadas. Como a imagem de entrada pode não possuir sempre as mesmas características, prepara-se a imagem para que tenha características similares.

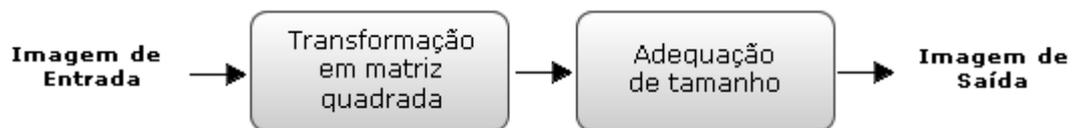
Nas etapas de decomposição *wavelet* e classificação, é utilizada a transformada *wavelet*, uma ferramenta matemática que utiliza funções chamadas *wavelets* para transformar

um sinal em uma representação com informações mais adequadas para o processamento (ADDISON, 2002). O resultado da aplicação da decomposição *wavelet* em um sinal unidimensional são dois sinais que possuem metade das amostras do sinal de entrada, e esses novos sinais podem ser decompostos novamente, gerando novos sinais com metade das amostras, e assim sucessivamente, desde que o sinal a ser decomposto possua quantidade de amostras par (ADDISON, 2002).

Para uma imagem representada por um sinal bidimensional, como uma imagem, são gerados quatro sinais ao aplicar a decomposição *wavelet*, cada qual com um quarto da quantidade de amostras da imagem original, resultando em imagens com a metade da quantidade de linhas e a metade da quantidade de colunas da imagem decomposta (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Devido a essa característica da transformada *wavelet* de reduzir ao meio a quantidade de amostras de um sinal, a etapa de pré-processamento realiza a alteração do tamanho da imagem de entrada para que não possua quantidade de linhas ou de colunas com valores ímpares (exceto quando esse valor for um. Na Figura 8 é apresentado o esquema geral dessa etapa.

Figura 8 – Esquema geral da etapa de pré-processamento.



Fonte: Elaboração do autor.

A primeira operação realizada na etapa de pré-processamento é transformar a imagem de entrada em uma imagem quadrada, que possui quantidade de linhas e de colunas idênticas. Para isso, armazena-se o maior valor entre o tamanho vertical e o tamanho horizontal da imagem, ou então o valor da altura, caso a imagem já possua a mesma quantidade de linhas e de colunas. Em seguida, ajusta-se esse valor à menor potência de 2 maior que ele, sem que haja perda de informação. Por exemplo, uma imagem com tamanho de 54 x 54 *pixels* possuiria, após a etapa de pré-processamento, o tamanho de 64 x 64 *pixels*. Uma imagem de 129 x 129 *pixels* possuiria tamanho de 256 x 256 *pixels* após o pré-processamento.

Os valores dos *pixels* das novas regiões da imagem são completados com zeros (preto) para evitar o erro de *wraparound* (efeito de borda) de acordo com Gonzalez e Woods (2010).

Na Figura 9 são apresentados exemplos dessa operação em três imagens reais de tamanhos diferentes, resultando em imagens com o mesmo tamanho de 128 x 128 *pixels*. Na Figura 9(a), a largura é maior que a altura; em (b), a altura é maior que a largura; e em (c), a imagem possui o mesmo valor para a altura e a largura.

Figura 9 – Exemplos da etapa de pré-processamento utilizando-se imagens reais.



(a) Tamanho alterado de 93 x 85 para 128 x 128



(b) Tamanho alterado de 75 x 106 para 128 x 128



(c) Tamanho alterado de 95 x 95 para 128 x 128

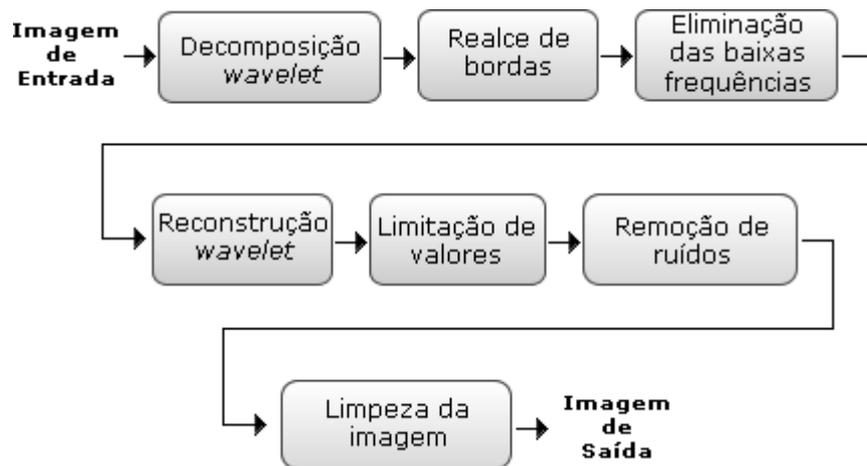
Fonte: Signal and Image Processing Institute (2011).

A saída da etapa de pré-processamento é uma versão da imagem de entrada com tamanho horizontal igual ao seu tamanho vertical, sendo esse valor um número que é uma potência de dois, de forma a garantir o funcionamento das demais etapas. A próxima etapa é a etapa de decomposição *wavelet*.

## 2.4 ETAPA DE DECOMPOSIÇÃO WAVELET

O objetivo da etapa de decomposição *wavelet* é gerar uma imagem contendo apenas as altas frequências da imagem de entrada, que serão utilizadas como sementes do algoritmo de crescimento de região utilizado na etapa seguinte. Na Figura 10 é apresentado o esquema geral desta etapa.

Figura 10 – Esquema geral da etapa de decomposição *wavelet*.



Fonte: Elaboração do autor.

Uma imagem digital monocromática é formada por *pixels* que possuem variações das tonalidades de cinza, que podem ocorrer de maneira suave, em partes homogêneas da imagem, ou então ocorrer de maneira abrupta, em partes heterogêneas da imagem. Regiões homogêneas das imagens, nas quais as transições entre as tonalidades são suaves, são definidas como relacionadas a baixas frequências em filtros digitais, enquanto regiões heterogêneas das imagens, como bordas e ruídos, onde há variação abrupta entre as tonalidades na imagem, são definidas como relacionadas a altas frequências em filtros digitais (GONZALEZ; WOODS, 2010).

As microcalcificações presentes em imagens de mamografias são definidas como regiões relacionadas a altas frequências (AKAY, 1998; MOUSA; MUNIB; MOUSSA, 2005; REZAI-RAD; JAMARANI, 2005;). Assim, a utilização de uma operação matemática que realiza a decomposição de sinais em sub-bandas auxilia na detecção desses elementos em imagens de mamografias.

O sistema desenvolvido utiliza a transformada *wavelet* devido a estudo já realizado com sucesso na detecção de microcalcificações em mamografias digitais (DÓCUSSE, 2008).

As quatro imagens obtidas ao se decompor uma imagem empregando a decomposição *wavelet* são formadas pelas sub-bandas de aproximação, detalhe vertical, detalhe horizontal e detalhe diagonal da imagem decomposta (GONZALEZ; WOODS, 2010), caracterizadas, respectivamente, por informações sobre os coeficientes de aproximação, os componentes de detalhes verticais, os componentes de detalhes horizontais e os componentes de detalhes diagonais da imagem decomposta (ADDISON, 2002). A sub-banda de aproximação obtida pode ser novamente decomposta, gerando quatro novas sub-bandas, e assim sucessivamente, até que a imagem não possa ser mais decomposta (GONZALEZ; WOODS, 2010).

No sistema desenvolvido foi utilizada a *wavelet* de Symmlets com 16 coeficientes (DAUBECHIES, 1992), pois apresenta melhores resultados na classificação das bordas das microcalcificações que outras *wavelets* analisadas (DÓCUSSE, 2008).

Inicialmente, a imagem de entrada dessa etapa é decomposta até o quarto nível da decomposição *wavelet*, e em seguida, é aplicado um operador de realce de bordas no domínio *wavelet* (SCHARCANSKI; JUNG, 2006) para realçar as bordas das microcalcificações e auxiliar na segmentação.

Neste trabalho utilizou-se o valor de ganho  $g = 2$ , pois é o que apresentou melhores resultados para esse tipo de situação, realçando as microcalcificações sem realçar outros elementos (DÓCUSSE, 2008). Na fase seguinte, a sub-banda de aproximação obtida na quarta decomposição é eliminada, substituindo com zeros os valores na matriz, e a imagem é reconstruída para o domínio espacial.

Como a transformada *wavelet* trabalha com valores reais, é possível que alguns valores dos *pixels* na imagem reconstruída fiquem fora do intervalo de valores utilizado para imagens monocromáticas de oito *bits* (de 0 ao 255).

Assim, após reconstruir a imagem, é feita uma verificação sobre todos os seus *pixels*. Caso existam valores negativos, esses valores são modificados para zero, e no caso de valores superiores a 255, esses valores são alterados para duzentos e cinquenta e cinco, evitando que haja problemas em seu armazenamento.

Se  $I(x, y)$  representa a imagem de entrada e  $G(x, y)$  representa a imagem de saída resultante da aplicação da operação de limitação de valores sobre a imagem  $I$ , então a operação de limitação de valores pode ser definida de acordo com a equação (3).

$$G(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{se } I(x, y) < 0; \\ 255, & \text{se } I(x, y) > 255; \\ I(x, y), & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (3)$$

Após a operação de limitação de valores, é feita a remoção dos ruídos gerados pelo processo de reconstrução das sub-bandas de alta frequência, através da aplicação da operação de limiarização. Essa operação consiste em verificar o valor de todos os *pixels* de uma imagem e substituir por um valor comum valores que sejam menores que um determinado limiar.

Se  $I(x, y)$  representa uma imagem de entrada,  $G(x, y)$  representa a imagem resultante da operação de limiarização,  $L_m$  representa o valor de limiar e  $V_c$  representa o valor comum, então a operação de limiarização em uma imagem digital é definida de acordo com a equação (4).

$$G(x, y) = \begin{cases} V_c, & \text{se } I(x, y) < L_m; \\ I(x, y), & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4)$$

Foram feitos ensaios com valores de  $L_m$  variando de 1 até 29, em passos de duas unidades. O valor  $L_m = 13$  foi selecionado pois foi o que resultou na remoção da maior quantidade de ruídos sem que houvesse a remoção de áreas das microcalcificações.

O último passo da etapa de decomposição *wavelet* é preencher com zeros a região da imagem de saída que não existe na imagem de entrada, adicionada na etapa de pré-processamento. Esse passo, denominado de “Limpeza da imagem”, é realizado para evitar que interferências ou ruídos resultantes da reconstrução da imagem apareçam nessa região e sejam classificados como microcalcificações.

A saída da etapa de decomposição *wavelet* é uma imagem formada pelas sub-bandas de maiores frequências da imagem de entrada, contendo imagens das microcalcificações a serem detectadas.

## 2.5 ETAPA DE CRESCIMENTO DE REGIÃO

A etapa de crescimento de região possui dois objetivos: o primeiro é realizar a detecção completa das microcalcificações na imagem de saída da etapa anterior, e o segundo é extrair as características de cada uma das microcalcificações detectadas para que a próxima etapa seja realizada, a etapa de classificação.

A segmentação é uma etapa do processamento digital de imagens que divide o conteúdo de uma imagem em regiões com características semelhantes (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008). Para imagens monocromáticas, há duas formas principais de realizar a

segmentação: através da detecção de descontinuidades, quando as fronteiras das regiões são suficientes para realizar a segmentação (segmentação baseada nas bordas), e a detecção de similaridades, onde as características das regiões são utilizadas para realizar a segmentação (segmentação baseada na região) (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Devido ao baixo contraste encontrado entre as microcalcificações e o tecido da mama (LADO et al., 1999; STRICKLAND; HAHN, 1995), utilizou-se neste trabalho a segmentação baseada na região.

A segmentação baseada na região pode ser feita de duas formas. A primeira através do crescimento de região, muito utilizado na detecção de objetos em mamografias digitais (CHENG et al., 2006), onde um primeiro *pixel* da região (denominado semente) é inicialmente detectado, e o algoritmo de crescimento de região verifica os *pixels* com as mesmas características dessa semente. A segunda forma é através da divisão e fusão de regiões, onde a imagem como um todo é considerada como uma primeira região, e o algoritmo divide e funde regiões menores até que as regiões encontradas possuam as mesmas características (GONZALEZ; WOODS, 2010).

No sistema desenvolvido foi utilizado um algoritmo de crescimento de região devido ao pequeno tamanho das microcalcificações.

O algoritmo de crescimento de região utilizado no sistema desenvolvido é uma melhoria de um algoritmo desenvolvido anteriormente (DÓCUSSE, 2008), de forma a diminuir a quantidade de memória necessária para sua execução. O algoritmo desenvolvido anteriormente é um algoritmo recursivo, sendo que as informações sobre as chamadas recursivas são armazenadas em uma pilha à qual o *software* não possui acesso.

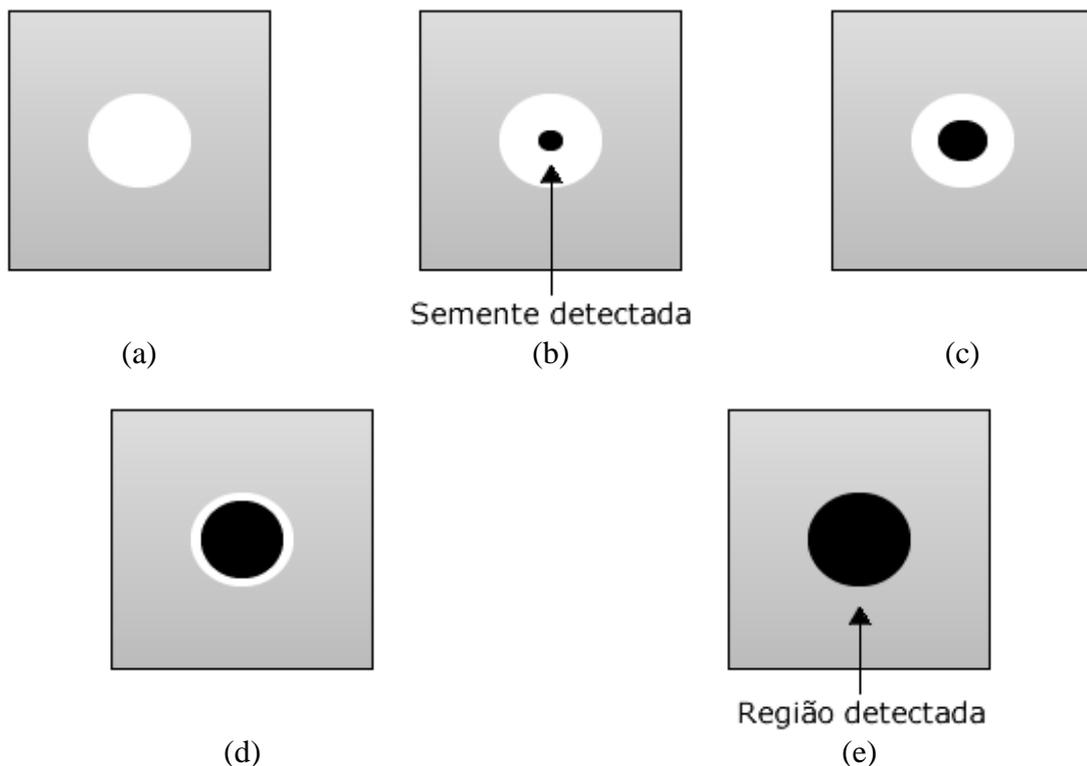
Na nova versão do algoritmo, as chamadas recursivas foram removidas e foi utilizada uma pilha controlada pelo próprio *software*, que indica a necessidade de continuação da execução do algoritmo. Testes comparativos dos algoritmos desenvolvidos na linguagem C++ utilizando o *software* Microsoft Visual Studio 2012 Ultimate, executando no sistema operacional Microsoft Windows 7 Ultimate indicaram que, para uma imagem monocromática de tamanho 256 x 256 *pixels*, o consumo de memória foi reduzido de aproximadamente 120 MB na sua versão recursiva para aproximadamente 33 MB na versão modificada, uma redução de aproximadamente 73% da quantidade de memória utilizada. Como consequência, o tempo de processamento também foi diminuído, de aproximadamente 10 segundos para 6 segundos, uma redução de 40% no tempo de execução do algoritmo.

O crescimento de região é realizado da seguinte forma: a partir de uma semente, detectada após uma varredura realizada na imagem, os *pixels* vizinhos dela são analisados

para verificar se possuem características semelhantes. Os que possuem características semelhantes à semente são marcados como pertencentes a essa região, e os seus vizinhos são também analisados para verificar se fazem parte dessa região. Os que não possuem características semelhantes à semente são marcados como não pertencentes a essa região, e o algoritmo analisa os próximos *pixels*. Esse processo se repete até que toda a região seja identificada.

Na Figura 11 é apresentado um exemplo do funcionamento de um algoritmo de crescimento de região. Em (a), tem-se um exemplo de uma imagem de fundo cinza com uma região com tonalidade branca a ser detectada. Em (b), é apresentada em preto a semente dessa região, que é utilizada como ponto de partida para a detecção da região. Em (c), após a análise e verificação de alguns dos *pixels* próximos à semente, tem-se que a região detectada já é maior. Em (d), a maior parte da região foi detectada, e em (e), mostra-se a região completamente detectada.

Figura 11 – Exemplo de funcionamento do algoritmo de crescimento de região.



Fonte: Elaboração do autor.

A vizinhança de um *pixel* é definida como os *pixels* que estão ao redor desse *pixel*, podendo ser de três tipos: a vizinhança-4 ( $N_4$ ), a vizinhança diagonal ( $N_D$ ) e a vizinhança-8 ( $N_8$ ) (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008; GONZALEZ; WOODS, 2010). Para um *pixel*  $p$

localizado em uma imagem na posição  $(x, y)$ , as suas vizinhanças podem ser definidas de acordo com as equações (5), (6) e (7).

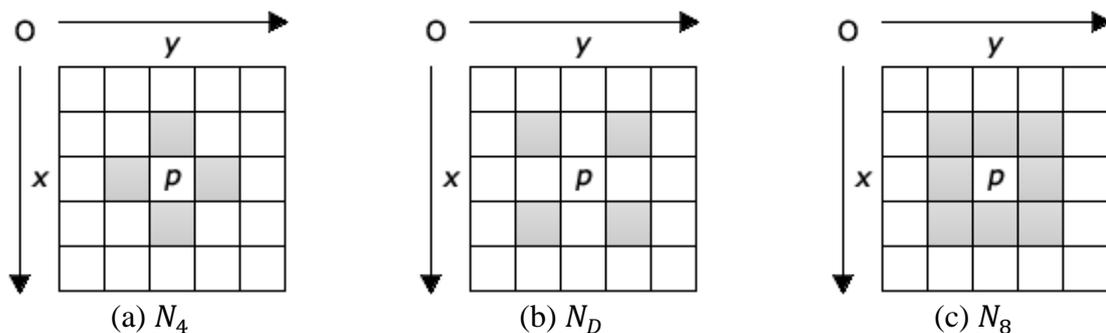
$$N_4 = \{(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)\} \quad (5)$$

$$N_D = \{(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)\} \quad (6)$$

$$N_8 = N_4 \cup N_D \quad (7)$$

Na Figura 12 é apresentado um exemplo de cada uma das vizinhanças de um *pixel*  $p$ , sendo que os *pixels* com tonalidade cinza são os *pixels* vizinhos de  $p$  de acordo com a vizinhança representada pelas imagens.

Figura 12 – Vizinhanças de um *pixel*.



Fonte: Elaboração do autor.

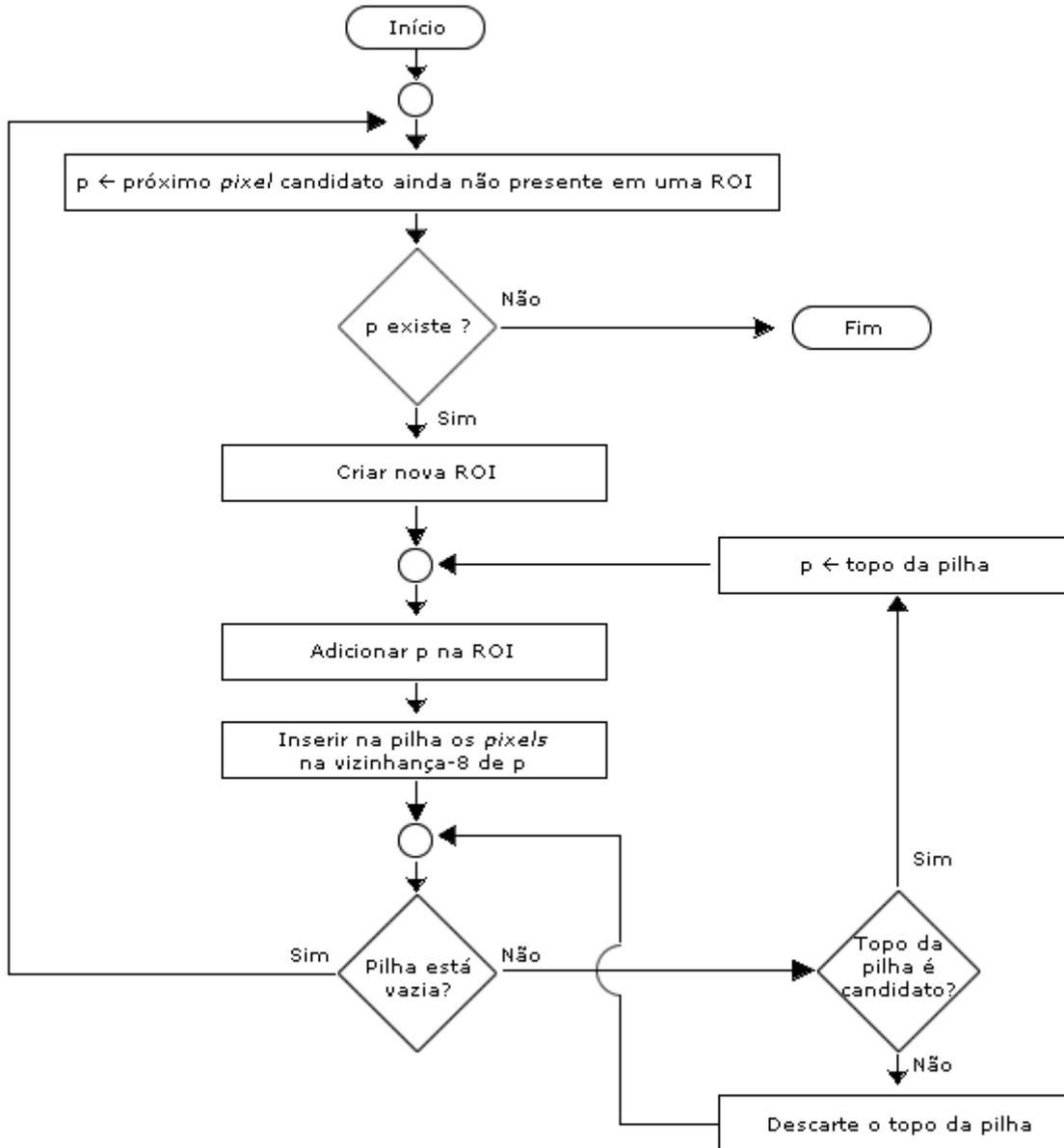
O algoritmo de crescimento de região desenvolvido utiliza a vizinhança-8 dos *pixels* para realizar a segmentação de uma região, de forma a considerar que os *pixels* de uma região podem estar próximos de outros tanto na horizontal, quanto na vertical e nas diagonais.

Na implementação realizada neste trabalho foram utilizados dois tipos de estruturas de dados, formas de se armazenar os dados na memória, para desenvolver o algoritmo de crescimento de região: uma pilha e uma lista.

A lista armazena informações sobre as possíveis regiões de interesse já segmentadas – *Regions of Interest* (ROIs) – encontradas durante a etapa de crescimento de região, que mais adiante no algoritmo são verificadas se são de fato microcalcificações ou falsos positivos. Os dados armazenados incluem informações sobre a localização dessa ROI na imagem original, as informações extraídas para serem utilizadas na etapa de classificação e a classificação, caso seja de fato uma microcalcificação.

A pilha é utilizada para armazenar as coordenadas dos *pixels* a serem analisados para verificar se faz parte da ROI candidata. O diagrama de blocos do algoritmo de crescimento de região é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de blocos do algoritmo de crescimento de região.



Fonte: Elaboração do autor.

Define-se como *pixel* candidato um *pixel* que pode fazer parte de uma ROI. Após a realização de testes, um *pixel* é considerado como candidato a fazer parte de uma ROI se ele possui tonalidade superior ou igual a cinquenta. Esse valor foi escolhido por ser o que

resultou na detecção da maior quantidade dos *pixels* das microcalcificações com menor quantidade de ruídos adicionados à imagem, nos ensaios realizados.

O algoritmo de crescimento de região inicia procurando um *pixel* candidato pela imagem. Se ele não encontrar, o algoritmo é encerrado. Caso encontre um *pixel* candidato e esse *pixel* não seja de nenhuma ROI, uma nova ROI é criada e esse *pixel* é adicionado a essa ROI. Os *pixels* da vizinhança-8 desse *pixel* adicionado são inseridos na pilha, para que sejam verificados se também fazem parte dessa ROI. Em caso negativo, o próximo *pixel* da pilha é analisado, e em caso positivo, esse *pixel* também é marcado como pertencente a essa ROI e os seus vizinhos-8 também são inseridos na pilha para serem verificados. O algoritmo termina quando não houver mais *pixels* candidatos na imagem de entrada que não estejam em alguma ROI.

Um problema que pode ocorrer na utilização de um algoritmo de crescimento de região é a falta de definição de um critério de parada (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008), que pode resultar em um laço infinito se as sementes forem analisadas mais de uma vez. Para evitar esse problema, foi utilizada uma matriz lógica, a Matriz de Pertinência Global (MPG), que possui o mesmo tamanho da imagem de entrada e armazena, para cada *pixel*, se este já está marcado por alguma ROI. Assim, através da utilização da MPG evita-se que o mesmo *pixel* seja analisado para mais de uma ROI, pois um *pixel* já marcado na MPG não é um *pixel* candidato, evitando que um mesmo *pixel* seja analisado mais de uma vez.

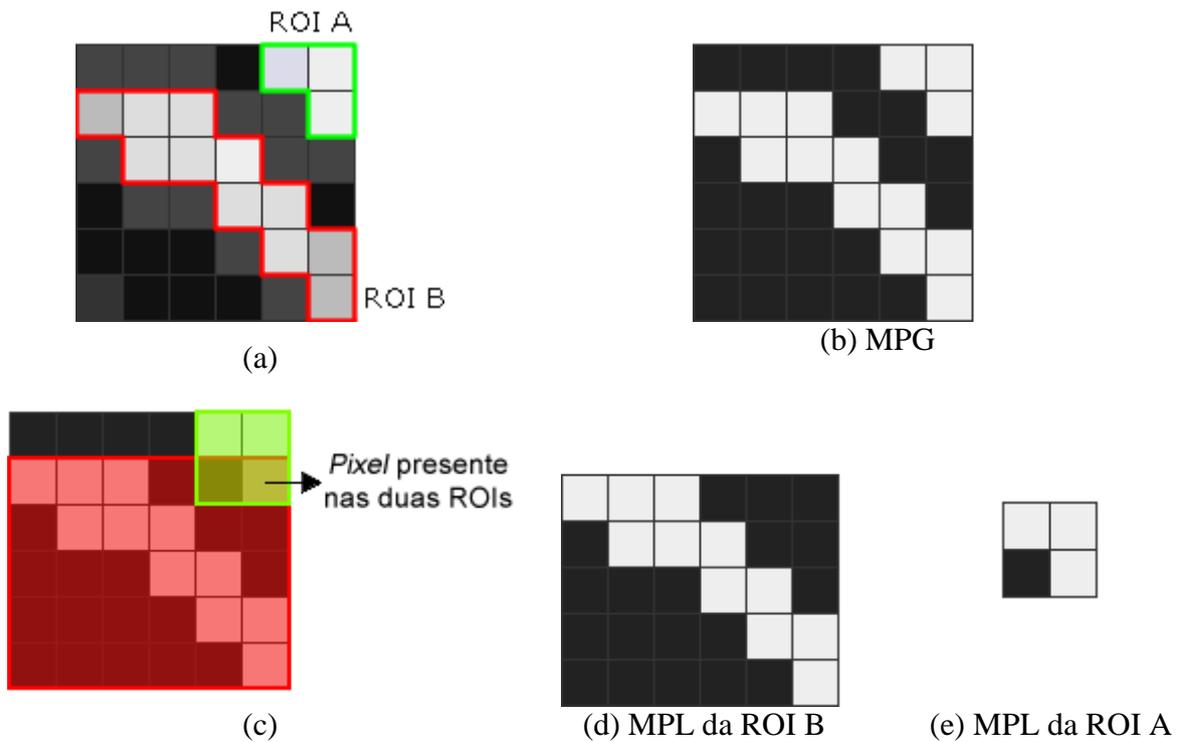
Outro tipo de matriz lógica utilizada é a Matriz de Pertinência Local (MPL), empregada para identificar na região da ROI qual *pixel* pertence a essa ROI, de forma a facilitar a criação de uma imagem binária (imagem que possui apenas duas tonalidades de cinza) da ROI na obtenção do índice de rugosidade.

Na Figura 14 (a), tem-se um exemplo de uma imagem simulada com duas regiões de interesse, denominadas ROI A e ROI B em tonalidade mais clara, enquanto o fundo da imagem possui tonalidade mais escura. Em (b), é apresentada a MPG dessa figura, sendo os pontos claros representando os *pixels* das ROIs detectadas em (a) e os pontos escuros representando os *pixels* que não pertencem a nenhuma ROI em (a). Em (c), em verde é apresentada a área da ROI A e em vermelho a área da ROI B, e é possível perceber que há dois *pixels* que pertencem tanto à área da ROI A quanto à área da ROI B, porém, esse *pixel* deve ser armazenado somente na MPL da ROI A como pertencente a essa ROI.

A utilização de uma MPL por ROI garante que o *pixel* seja marcado apenas para a ROI correta. Ainda na Figura 14, em (d) e em (e), são apresentadas respectivamente as MPL das

ROI A e da ROI B, onde é possível ver que os *pixels* comuns a essas duas ROIs estão marcados corretamente apenas como integrantes da ROI A.

Figura 14 – Exemplo de MPG e MPL.



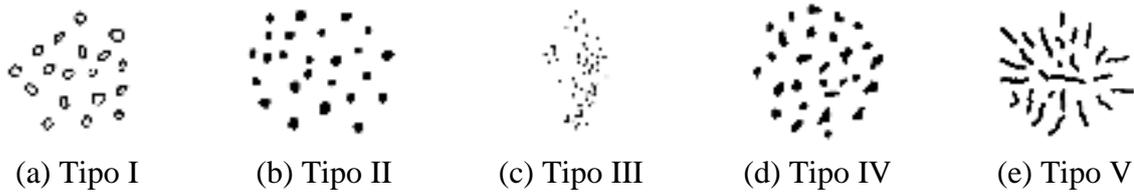
Fonte: Elaboração do autor.

Após a detecção de todas as ROIs presentes na imagem de entrada, as que possuem valor de área inferior a 5 *pixels* (ou  $243\mu m$ ) são descartadas por se tratarem de falsos positivos (ARODZ et al., 2006), ou seja, elementos que foram detectados como microcalcificação, mas que não o são. Os dados referentes a essas ROIs são removidos da lista de ROIs detectadas, e então o processo de obtenção de informações sobre as ROIs detectadas é iniciado. Destaca-se que as imagens utilizadas neste trabalho utilizam a mesma resolução que as do trabalho de Arodz et al. (2006).

### 2.5.1 – Extração de características

Na Figura 15 apresenta-se novamente os tipos de microcalcificações definidos por Le Gal. As microcalcificações de cada tipo são diferenciadas de acordo com o seu formato (PEREIRA, 1995).

Figura 15 – Exemplos de tipos de microcalcificações segundo a classificação de Le Gal.



Fonte: Pereira (1995).

Analisando visualmente as imagens das microcalcificações, foram definidas características para a identificação de cada um dos tipos de microcalcificação.

Para as microcalcificações do tipo I, por serem as únicas que possuem região escura no interior de suas imagens, foi definido o valor médio de tonalidade da microcalcificação (PEREIRA, 1995).

Para as microcalcificações do tipo III, foi definido o valor de área, por serem as únicas que possuem valor muito pequeno quando comparadas com as dos demais tipos (PEREIRA, 1995).

Para as microcalcificações do tipo V, foi definida a razão entre o comprimento e a largura da microcalcificação, por serem as únicas microcalcificações que não possuem formato arredondado (PEREIRA, 1995), e para as microcalcificações dos tipos II e IV, foi definido o coeficiente de rugosidade (DÓCUSSE; PEREIRA; MARRANGHELLO, 2009), pois a diferença entre as microcalcificações desses dois tipos se dá através da rugosidade de suas bordas (PEREIRA, 1995).

A área da ROI é calculada durante o crescimento de região. Cada ROI possui um número inteiro que representa esse valor, sendo que esse valor inicial é zero. Na etapa de crescimento de região, quando um novo *pixel* é definido como integrante da ROI, o seu valor de área é incrementado em uma unidade, e ao final da detecção de todos os *pixels* que fazem parte dessa ROI, o seu valor de área é conhecido.

O valor médio de tonalidade é calculado através da média das tonalidades de todos os *pixels* da imagem de entrada que pertencem àquela região de interesse, sendo também calculado durante a etapa de crescimento de região. Para isso, soma-se o valor das tonalidades de todos os *pixels* da ROI, e ao término de sua detecção, esse valor é dividido pelo valor de área da ROI, resultando no seu valor médio de tonalidade.

No coeficiente de rugosidade define-se se a borda de uma ROI é lisa ou rugosa (DÓCUSSE; PEREIRA; MARRANGHELLO, 2009). Para isso, é aplicada a transformada

*wavelet* de Haar até o nível 1 em uma imagem binarizada obtida a partir da MPL de cada região de interesse. A imagem no domínio *wavelet* possui então valores da imagem de detalhes diagonais alterados para zero, de forma a perturbar as bordas da imagem dessa região, e depois a imagem é reconstruída para o domínio espacial. Assim, para uma ROI que possui borda lisa, poucos *pixels* são afetados por essa operação. Entretanto, se a região possui borda rugosa, vários *pixels* são afetados por essa operação.

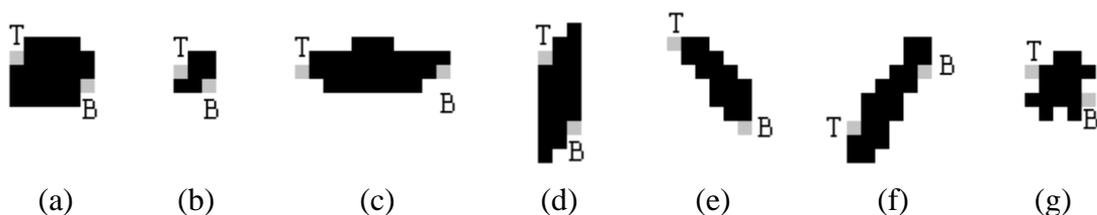
O coeficiente de rugosidade é definido como a porcentagem de *pixels* de borda da imagem perturbada em relação à quantidade de *pixels* de borda da imagem anterior à perturbação. Se esse valor for menor que 50% a ROI é definida como de borda lisa. Se for superior a 50% a ROI é definida como de borda rugosa. Caso contrário, a ROI é indefinida.

Para diferenciar as microcalcificações do tipo V dos demais tipos, inicialmente foi utilizado apenas o comprimento da ROI, porém, após a realização de testes verificou-se que apenas o valor do comprimento não era suficiente para diferenciar microcalcificações deste tipo. Utilizou-se, então, o comprimento e a largura da microcalcificação, e foi criado um algoritmo para calcular esses dois valores. Neste algoritmo detecta-se dois *pixels* presentes na ROI, denominados de *pixel* topo e o *pixel* base.

O *pixel* topo é definido como o *pixel* extremo esquerdo superior da ROI, e o *pixel* base é definido como o *pixel* extremo direito inferior da ROI. Após encontrar esses dois *pixels*, calcula-se a distância euclidiana entre eles. Esta distância é definida temporariamente como o comprimento da ROI.

Na Figura 16 é apresentado um exemplo de algumas regiões e dos *pixels* base (B) e topo (T) de cada uma delas, destacados em cinza, enquanto o restante dos *pixels* das ROIs está em preto.

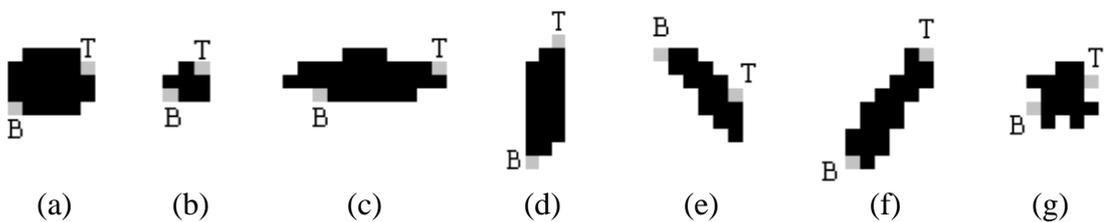
Figura 16 – Exemplos de *pixels* base (B) e topo (T) de ROIs.



Fonte: Elaboração do autor.

Em alguns casos, como o da Figura 16 (d), a distância euclidiana não é a maior distância entre os *pixels* da ROI. Dessa forma, esta distância não pode ser definida como o seu comprimento. Por isso, o sistema calcula novos *pixels* topo e base, definidos respectivamente como o *pixel* extremo direito superior da ROI e como o *pixel* extremo esquerdo inferior da ROI, e calcula novamente a distância euclidiana entre esses pontos. Na Figura 17 é apresentado um exemplo da localização dos *pixels* base (B) e topo (T) das imagens presentes na Figura 16 utilizando este método.

Figura 17 – Exemplos de nova seleção de *pixels* base (B) e topo (T) de ROIs.



Fonte: Elaboração do autor.

Esse novo valor de comprimento é comparado com o valor obtido anteriormente, e o valor de comprimento da ROI é definido como o maior entre os dois valores.

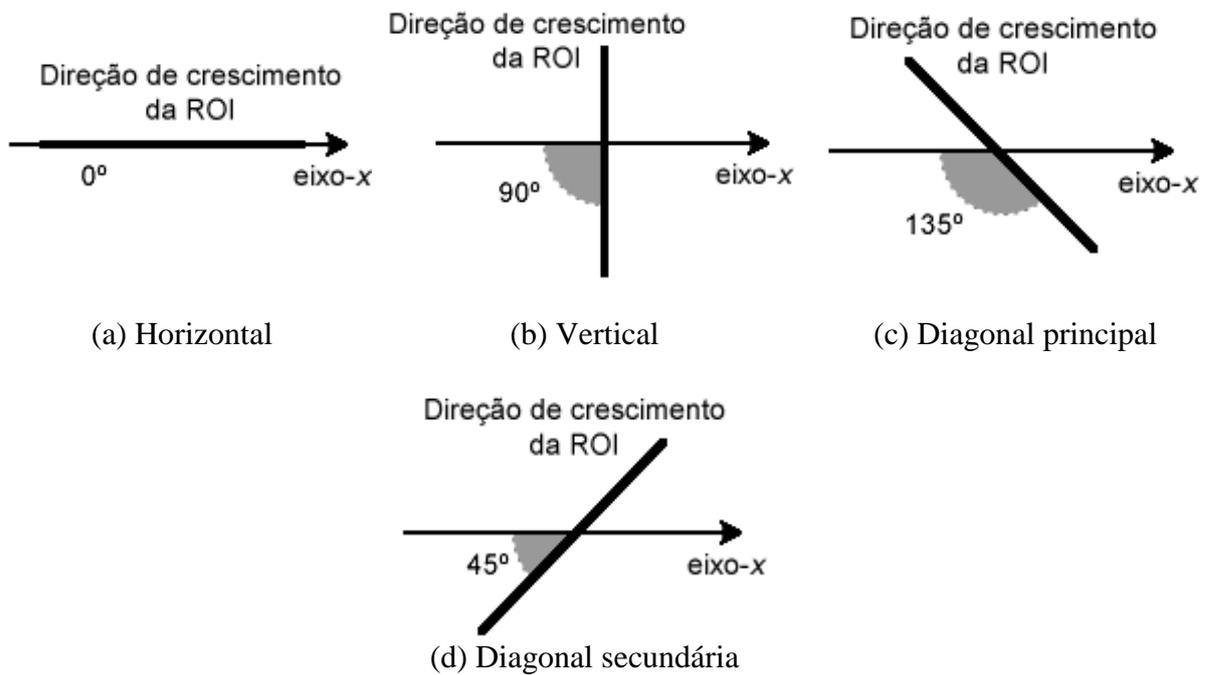
Como o comprimento de uma ROI é calculado baseado em uma reta entre dois de seus pontos, a largura é calculada como uma reta na direção perpendicular à direção da reta utilizada para calcular o comprimento da ROI.

Para calcular a largura é necessário descobrir a direção do comprimento para que a largura seja calculada no sentido perpendicular. Dessa forma, foram definidas quatro direções de crescimento de uma ROI, descritas a seguir:

- a) horizontal ( $0^\circ$  entre o eixo- $x$  e a direção de crescimento da ROI);
- b) vertical ( $90^\circ$  entre o eixo- $x$  e a direção de crescimento da ROI);
- c) diagonal principal ( $135^\circ$  entre o eixo- $x$  e a direção de crescimento da ROI);
- d) diagonal secundária ( $45^\circ$  entre o eixo- $x$  e a direção de crescimento da ROI).

Na Figura 18 são apresentadas representações gráficas das quatro direções de crescimento das ROIs, indicando os ângulos calculados de  $0^\circ$ , em (a),  $90^\circ$ , em (b),  $135^\circ$ , em (c), e  $45^\circ$ , em (d).

Figura 18 – Possíveis direções de crescimento das ROIs.



Fonte: Elaboração do autor.

O cálculo do ângulo  $\theta$  entre o sentido de crescimento da ROI e o eixo- $x$  depende do método utilizado para encontrar o comprimento da ROI (definição da posição dos *pixels* base e topo). Assim, se o *pixel* topo estiver do lado esquerdo da ROI, o ângulo  $\theta$  é calculado de acordo com a equação (8). Se o comprimento da ROI foi calculado com o *pixel* topo do lado direito da ROI, o ângulo  $\theta$  é então calculado de acordo com a equação (9).

$$\theta = \arcsin\left(\frac{Y_{topo} - Y_{base}}{Comprimento}\right) \quad (8)$$

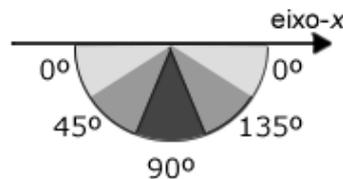
$$\theta = \arcsin\left(\frac{Y_{base} - Y_{topo}}{Comprimento}\right) \quad (9)$$

Para classificar corretamente o sentido em que uma ROI cresce, é necessário definir os limites do ângulo entre a direção de crescimento e o eixo- $x$  para cada uma das direções definidas. Dessa forma, há um intervalo de valores de ângulo em que a ROI é definida com crescimento na horizontal, outro intervalo em que é definida com crescimento no sentido de uma diagonal secundária, outro intervalo em que é definida com crescimento na vertical e um

último intervalo definindo que a ROI possui crescimento no sentido de uma diagonal principal.

Uma visualização gráfica desses intervalos é apresentada na Figura 19, onde a região com tonalidade cinza mais clara representa o intervalo referente ao crescimento na horizontal, a região com tonalidade cinza mais escura representa o intervalo referente ao crescimento na vertical, e as regiões com tonalidade cinza intermediária representam os intervalos referentes ao crescimento em uma das diagonais.

Figura 19 – Representação gráfica dos limites de ângulo para a definição da direção de crescimento de uma ROI.



Fonte: Elaboração do autor.

A definição sobre os valores mínimo e máximo de ângulo entre o eixo-x e o sentido de crescimento de uma ROI para cada uma das regiões foi feita após a realização de testes, detalhados na seção 2.6.1. Os valores que apresentaram melhores resultados na classificação final das microcalcificações são apresentados na Tabela 3. Na Figura 20 são apresentados esses valores em uma representação gráfica, onde a região com tonalidade cinza mais clara representa o intervalo referente ao crescimento na horizontal, a região com tonalidade cinza mais escura representa o intervalo referente ao crescimento na vertical, e as regiões com tonalidade cinza intermediária representam os intervalos referentes ao crescimento em uma das diagonais.

Tabela 3 – Valores de ângulos mínimo e máximo para a definição do sentido de crescimento da ROI.

	<b>Intervalos utilizados</b>
<b>Horizontal</b>	$[0^\circ, 20^\circ)$ e $(160^\circ, 180^\circ]$
<b>Diagonal secundária</b>	$[20^\circ, 70^\circ)$
<b>Vertical</b>	$[70^\circ, 110^\circ)$
<b>Diagonal principal</b>	$(110^\circ, 160^\circ]$

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 20 – Valores de ângulo mínimo e máximo utilizados para cada intervalo.



Fonte: Elaboração do autor.

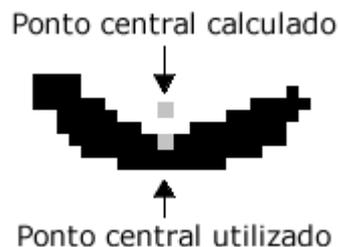
Após detectar a direção de crescimento da ROI, visando encontrar a sua largura, deve-se obter seu ponto central. As equações (10) e (11) são utilizadas para encontrar o ponto central, localizado nas coordenadas  $(C_X, C_Y)$ , onde  $Y_{max}$  é o maior valor de coluna da imagem original que a ROI possui *pixel*,  $X_{max}$  é o maior valor de linha da imagem original que a ROI possui *pixel*,  $Y_{min}$  é o menor valor de coluna da imagem original que a ROI possui *pixel* e  $X_{min}$  é o menor valor de linha da imagem original que a ROI possui *pixel*.

$$C_Y = \left\lfloor \frac{Y_{max} - Y_{min} + 1}{2} \right\rfloor \quad (10)$$

$$C_X = \left\lfloor \frac{X_{max} - X_{min} + 1}{2} \right\rfloor \quad (11)$$

Um problema que pode ocorrer no cálculo do ponto central é que, em casos em que o ponto não contém um *pixel* pertencente à ROI, é impossível fazer o crescimento de região a partir desse ponto. Nesses casos, é considerado como *pixel* central o *pixel* vizinho-8 mais próximo do *pixel* central calculado. Um exemplo dessa situação é apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Exemplo de utilização de ponto central não calculado.

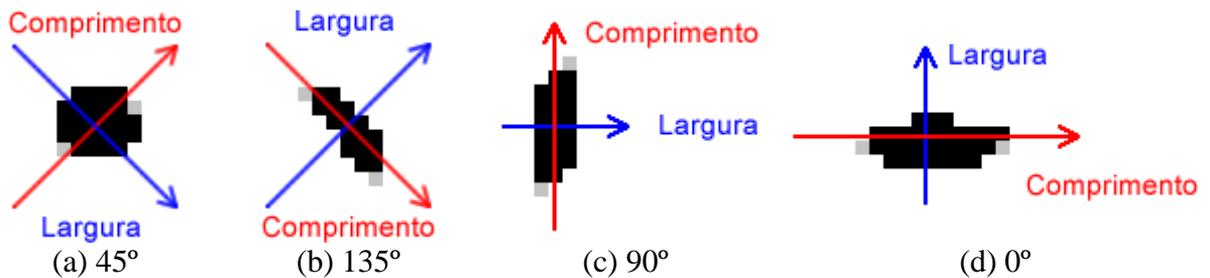


Fonte: Elaboração do autor.

Após calcular o ponto central e a direção de crescimento da ROI, é possível calcular sua largura. Para isso, a partir do ponto central e seguindo na direção perpendicular à região

de crescimento da ROI, o algoritmo busca o último *pixel* pertencente a essa ROI nessa direção, tanto de um lado quanto do outro lado. Ao chegar aos dois pontos extremos da ROI, calcula-se a distância euclidiana entre eles, e esse valor é definido como a largura da ROI. Na Figura 22 são apresentados exemplos da direção da obtenção da largura (em azul) para as possíveis direções de crescimento (em vermelho) de uma ROI.

Figura 22 – Exemplo da direção usada para calcular a largura de ROIs.



Fonte: Elaboração do autor.

Após obter o valor da largura, a razão entre a largura e o comprimento da ROI é definida como o maior valor dos dois valores dividido pelo menor valor entre eles.

A extração de características é feita para todas as regiões de interesse. Feita a extração de características de todas as microcalcificações, a próxima etapa é a classificação.

## 2.6 ETAPA DE CLASSIFICAÇÃO

Na fase de classificação as microcalcificações identificadas são classificadas em um dos cinco tipos propostos por Michèle Le Gal. Utilizou-se como classificador uma Rede Neural Artificial (RNA), uma máquina que simula o funcionamento do cérebro humano no desenvolvimento de determinada tarefa (HAYKIN, 1999).

A RNA utilizada como classificador é uma rede Perceptron que possui três camadas, sendo uma camada de entrada, uma camada intermediária e uma camada de saída. Os neurônios são do modelo McCulloch-Pits (HAYKIN, 1999), utilizando como função de ativação uma função sigmoide com valores de saída que variam no intervalo  $[-1, +1]$ .

A camada de entrada possui quatro neurônios, um para cada informação extraída na etapa de crescimento de região, enquanto a camada de saída possui cinco neurônios, um para cada tipo de microcalcificação de acordo com a proposta de Michèle Le Gal.

A camada intermediária possui doze neurônios. Esse valor foi definido durante os ensaios por ser a menor quantidade de neurônios que permitiu uma classificação satisfatória para as imagens de teste utilizadas.

A utilização dos valores de entrada como calculados na etapa de extração de características gerou redes que não convergiram durante o treinamento. Assim, o sistema normaliza as entradas, o que permitiu a geração de redes convergentes. Os valores de normalização foram escolhidos após ensaios, verificando-se os valores máximos obtidos na extração das características das microcalcificações.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de normalização referentes a cada uma das entradas da rede neural. O valor apresentado à RNA é o valor obtido na etapa de crescimento de região dividido pelo valor apresentado na coluna Valor de normalização da Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de normalização para as entradas da RNA.

<b>Entrada</b>	<b>Valor de normalização</b>
Área	50
Tonalidade média	255
Razão entre comprimento e altura	10
Coefficiente de rugosidade	100

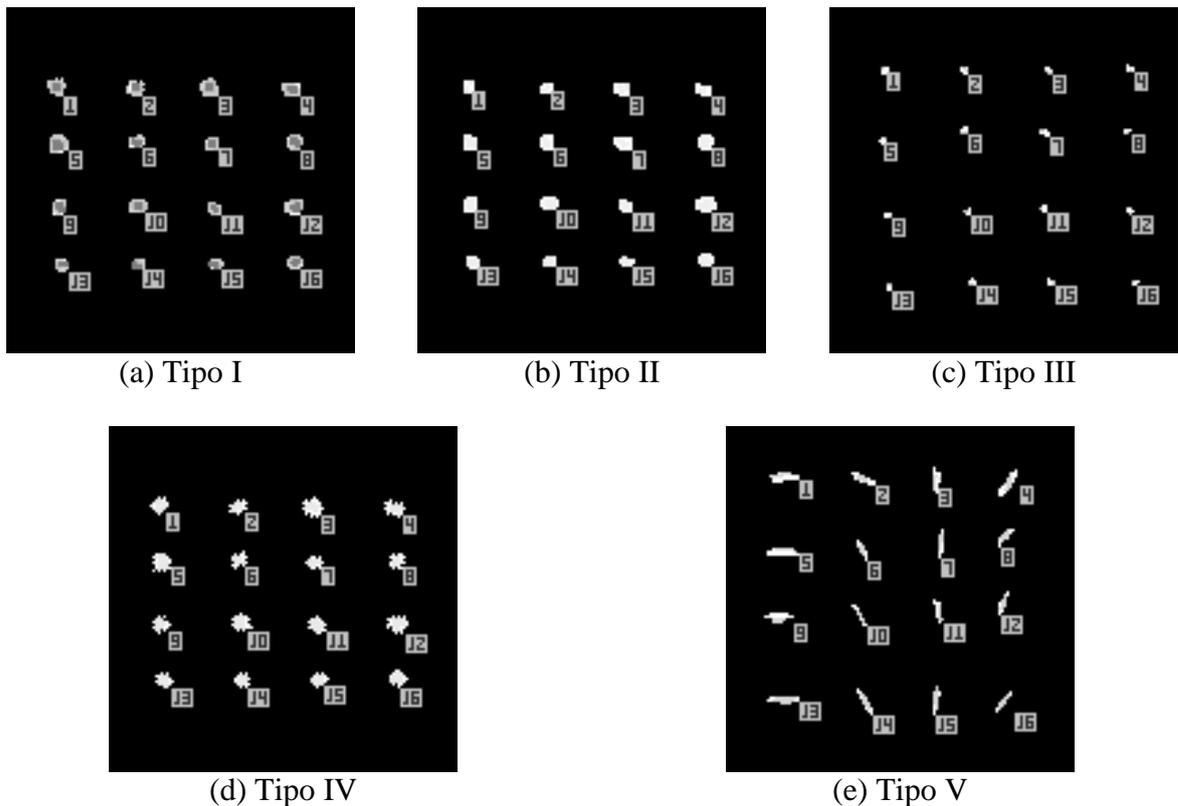
Fonte: Elaboração do autor.

Os valores normalizados são apresentados à RNA e os valores de saída de cada um dos neurônios da camada de saída são armazenados para cada ROI apresentada à rede neural.

### 2.6.1 Treinamento

O treinamento da RNA foi realizado utilizando-se o algoritmo *backpropagation*. Foram utilizadas como padrões de treinamento oitenta imagens simuladas de microcalcificações, sendo dezesseis imagens por tipo de microcalcificação, apresentadas na Figura 23. Nessa figura, em (a), são apresentadas as imagens das microcalcificações do tipo I utilizadas para o treinamento; em (b), as imagens do tipo II; em (c), as imagens do tipo III; em (d), as imagens do tipo IV e em (e) as imagens do tipo V.

Figura 23 – Imagens utilizadas no treinamento da RNA.



Fonte: Elaboração do autor.

O treinamento foi realizado da seguinte maneira: inicialmente, cada uma das imagens foi processada pelo sistema, e foram armazenadas em um arquivo de texto as características extraídas de cada uma das imagens bem como o resultado de saída esperado para cada um dos neurônios da camada de saída da RNA. Na Tabela 5 são apresentadas as características extraídas das microcalcificações presentes na Figura 23(a), na Tabela 6 são apresentadas as características extraídas das microcalcificações presentes na Figura 23(b), na Tabela 7 são apresentadas as características extraídas das microcalcificações presentes na Figura 23(c), na Tabela 8 são apresentadas as características extraídas das microcalcificações presentes na Figura 23(d), e na Tabela 9 são apresentadas as características extraídas das microcalcificações presentes na Figura 23(e). Nessas figuras, a numeração das microcalcificações é feita da esquerda para a direita, de cima para baixo, sendo denominada 1 a microcalcificação no canto superior esquerdo, 4 a no canto superior direito, 13 a no canto inferior esquerdo e 16 a no canto inferior direito.

Tabela 5 – Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo I, presentes na Figura 23(a).

<b>Amostra</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade média</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>
1	33	141,06	6,32	6,00	1,05	52
2	30	166,39	7,21	1,41	5,11	51
3	33	149,18	6,71	5,00	1,34	66
4	22	181,56	7,21	1,41	5,11	68
5	39	142,83	7,21	2,83	2,55	58
6	25	133,79	5,83	2,83	2,06	60
7	20	162,59	5,83	1,41	4,13	70
8	24	131,49	5,66	4,24	1,33	80
9	28	133,08	6,40	4,24	1,51	75
10	32	135,44	6,71	4,00	1,68	76
11	23	186,08	7,21	4,24	1,70	91
12	22	135,65	5,66	2,83	2,00	57
13	26	135,19	5,39	4,00	1,35	42
14	22	136,56	5,00	2,83	1,77	69
15	19	111,94	5,00	2,83	1,77	84
16	20	120,62	5,10	3,00	1,70	33

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 6 – Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo II, presentes na Figura 23(b).

<b>Amostra</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade média</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>
1	19	241,95	5,00	4,24	1,18	84
2	18	244,67	5,00	2,83	1,77	66
3	28	239,50	6,40	4,24	1,51	100
4	24	245,96	6,40	2,83	2,26	100
5	28	239,50	6,40	5,66	1,13	82
6	28	242,82	5,66	4,24	1,33	75
7	31	242,00	5,83	4,24	1,38	62
8	32	245,31	7,21	4,24	1,70	83
9	28	241,72	6,40	4,24	1,51	75
10	31	240,00	6,32	4,00	1,58	62
11	40	239,50	7,62	5,00	1,52	100
12	22	240,91	5,66	2,83	2,00	57
13	26	240,69	5,39	4,00	1,35	42
14	22	236,68	5,00	2,83	1,77	69
15	19	233,79	5,00	2,83	1,77	84
16	18	234,34	5,10	2,00	2,55	33

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 7 – Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo III, presentes na Figura 23(c).

<b>Amostra</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade média</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>
1	7	239,87	2,83	1,41	2,01	42
2	8	241,76	2,83	1,41	2,01	100
3	8	228,53	2,83	1,41	2,01	57
4	7	209,62	2,83	1,00	2,83	16
5	8	215,29	2,83	1,41	2,01	57
6	9	231,47	3,61	1,00	3,61	75
7	5	233,82	2,24	1,00	2,24	60
8	6	237,35	2,24	2,00	1,12	40
9	7	239,87	2,24	2,00	1,12	33
10	6	219,71	2,24	1,00	2,24	50
11	6	237,35	2,24	2,00	1,12	20
12	6	237,35	2,24	1,00	2,24	100
13	7	224,75	2,24	2,00	1,12	33
14	7	224,75	2,83	1,41	2,01	42
15	5	233,82	2,24	1,00	2,24	60
16	6	219,71	2,24	1,00	2,24	100

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 8 – Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo IV, presentes na Figura 23(d).

<b>Amostra</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade média</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>
1	28	227,93	6,08	6,00	1,01	21
2	39	237,73	7,28	6,00	1,21	20
3	25	233,11	6,71	5,00	1,34	12
4	32	233,95	7,28	4,00	1,82	35
5	25	233,11	5,83	4,24	1,38	6
6	37	228,83	7,21	7,07	1,02	21
7	26	238,81	5,83	2,83	2,06	0
8	23	233,03	6,00	4,00	1,50	14
9	34	231,47	7,62	5,00	1,52	16
10	27	230,05	6,08	3,00	2,03	0
11	30	228,34	6,71	6,00	1,12	6
12	37	233,38	7,28	5,00	1,46	14
13	29	230,32	6,08	6,00	1,01	6
14	26	227,47	6,32	4,00	1,58	13
15	24	230,44	5,39	3,00	1,80	7
16	25	228,05	6,08	3,00	2,03	0

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 9 – Dados extraídos das imagens de treinamento das microcalcificações do tipo V, presentes na Figura 23(e).

Amostra	Área	Tonalidade média	Comprimento	Largura	Proporção	Rugosidade
1	21	226,91	6,32	2,00	3,16	88
2	29	221,95	10,82	1,41	7,67	30
3	30	235,34	10,05	2,00	5,03	72
4	22	224,84	8,94	2,00	4,47	27
5	18	218,14	10,05	1,00	10,05	83
6	17	207,30	7,81	1,41	5,54	35
7	15	215,68	7,62	2,00	3,81	53
8	31	235,97	11,05	2,00	5,53	86
9	17	211,63	8,54	2,00	4,27	53
10	17	224,64	7,62	1,00	7,62	52
11	13	220,97	8,60	1,00	8,60	23
12	27	230,42	10,00	3,00	3,33	73
13	20	203,39	8,25	1,00	8,25	83
14	21	212,87	10,30	2,00	5,15	44
15	15	200,93	8,60	1,41	6,10	21
16	27	200,39	11,05	2,00	5,53	73

Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 24 é apresentado um exemplo do arquivo de texto gerado que possui as características das imagens de teste, sendo que a primeira linha indica a quantidade de padrões existentes no arquivo, a segunda linha indica a quantidade de características para cada microcalcificação e a terceira linha indica a quantidade de neurônios de saída da rede neural.

A partir da quarta linha, há duas linhas para cada padrão. A primeira indica os valores de entrada (área, tonalidade média, comprimento, largura e coeficiente de rugosidade, nessa ordem) e a segunda linha indica o resultado esperado para cada neurônio da camada de saída da RNA (neurônio referente ao tipo I, neurônio referente ao tipo II, neurônio referente ao tipo III, neurônio referente ao tipo IV e neurônio referente ao tipo V, nessa ordem).

Durante o treinamento da rede, as informações contidas neste arquivo são utilizadas para treinar a rede neural que utiliza o algoritmo *backpropagation*. As etapas a seguir são realizadas:

- a) primeiramente, os pesos sinápticos de cada um dos neurônios são inicializados com valores aleatórios;
- b) em seguida, é sorteada a ordem de apresentação dos padrões para a rede;
- c) por fim, é feito o treinamento dos padrões de entrada de acordo com o sorteio realizado em (b).

Figura 24 – Exemplo de arquivo para utilização no treinamento da RNA.

```

rmapatterns1.pat - Bloco de notas
Arquivo  E_ditar  F_ormatar  E_xibir  A_juda
80
5
5
33 141.06 6.32 6.00 52.00
1 -1 -1 -1 -1
30 166.39 7.21 1.41 51.00
1 -1 -1 -1 -1
33 149.18 6.71 5.66 66.00
1 -1 -1 -1 -1
22 181.56 7.21 1.41 68.00
1 -1 -1 -1 -1
39 142.83 7.21 2.83 58.00
1 -1 -1 -1 -1
25 133.79 5.83 2.83 60.00
1 -1 -1 -1 -1
20 162.59 5.83 1.41 70.00
1 -1 -1 -1 -1
24 131.49 5.66 4.24 80.00
1 -1 -1 -1 -1
28 133.08 6.40 4.24 75.00
1 -1 -1 -1 -1

```

Fonte: Elaboração do autor.

Os passos descritos anteriormente são realizados e, ao final da primeira iteração do algoritmo *backpropagation*, os resultados obtidos para cada padrão de entrada são analisados. Caso a classificação de todos os padrões resulte em valor de ativação dos neurônios abaixo da tolerância de erro definida, o treinamento é encerrado. Caso contrário, os passos (ii) e (iii) são repetidos, até que a classificação de todos os padrões apresente erro abaixo da tolerância especificada.

Os primeiros testes realizados foram em relação à angulação das ROI consideradas para encontrar os seus valores de largura e altura. Utilizando-se  $\lambda = 0,5$  (inclinação da função sigmoide),  $\alpha = 0,1$  (taxa de treinamento usada no algoritmo *backpropagation*), 0,1 de tolerância de classificação dos padrões de entrada e 0,7 de tolerância da saída de cada neurônio da camada de saída. Testou-se a rede para 14 imagens para cada tipo de microcalcificação, num total de 70 imagens. Foram feitos três testes, variando os valores de angulação da ROI, conforme pode ser visto na Tabela 10. Os resultados dos testes podem ser vistos na Tabela 11, onde é possível ver que o teste número 1 apresentou os melhores resultados, e por isso, foi utilizado no restante dos testes.

Tabela 10 – Testes realizados com a angulação da ROI.

<b>Tipo de ROI</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>	<b>Teste 3</b>
<b>Horizontal</b>	160° a 20°	170° a 10°	150° a 30°
<b>Diagonal secundária</b>	20° a 70°	10° a 80°	30° a 60°
<b>Vertical</b>	70° a 110°	80° a 100°	60° a 120°
<b>Diagonal Principal</b>	110° a 160°	100° a 170°	120° a 150°

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 11 – Resultado dos testes feitos com a angulação da ROI.

<b>Teste</b>	<b>Acerto</b>
1	91,43 %
2	85,71 %
3	87,14 %

Fonte: Elaboração do autor.

Analisou-se também os valores de  $\lambda$  e de  $\alpha$  da rede neural. Para cada configuração, a rede foi treinada cinco vezes com tolerância de 0,1 para a classificação dos padrões de entrada e 0,7 de tolerância para a tolerância da saída do neurônio, sendo que os valores de número de iterações e o tempo de treinamento foram anotados. Na Tabela 12 são apresentados os resultados obtidos variando esses valores, onde é possível perceber que a utilização de  $\lambda = 0,5$  e  $\alpha = 0,5$  não fez a rede convergir, ou seja, a rede não conseguiu obter uma solução, nas cinco tentativas, que classificasse corretamente as imagens de treinamento.

Tabela 12 – Resultados variando a taxa de treinamento e a inclinação da função sigmoide.

<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Número médio de iterações</b>	<b>Tempo médio</b>
0,5	0,1	2.520,25	9,53
0,1	0,5	1.152,5	4,33
0,5	0,5	Não convergiu	Não convergiu
0,2	0,8	951,25	3,59
0,1	0,9	834,75	3,165
0,8	0,2	562,5	2,135
0,9	0,1	1541	5,83

Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com os resultados verificados na Tabela 12, os valores  $\lambda = 0,8$  e  $\alpha = 0,2$  foram os que apresentaram melhores resultados, e esses foram os valores utilizados no restante dos testes.

Por fim, foi gerada uma RNA utilizando os dados informados anteriormente e 0,01 de tolerância para a classificação dos padrões de entrada, gastando 12,42 s para realizar o treinamento num total de 4471 iterações. Na Tabela 13 são apresentados os pesos da camada de entrada, onde  $NX$  representa o neurônio  $X$  dessa camada e  $WY$  representa o peso referente à entrada  $Y$ , sendo  $W0$  o valor do *bias* e  $X \in \{1,2,3,4\}$  e  $Y \in \{0,1,2,3,4\}$ .

Tabela 13 – Pesos da camada de entrada da rede neural.

	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W3</b>	<b>W4</b>	<b>W0</b>
<b>N1</b>	-4,07	-29,82	-22,62	-4,40	38,61
<b>N2</b>	30,23	-4,38	-6,65	-40,00	2,30
<b>N3</b>	19,24	-76,44	56,80	7,59	37,16
<b>N4</b>	54,90	-41,56	-40,78	-0,92	31,98

Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 14 são apresentados os pesos da camada escondida, onde  $NX$  representa o neurônio  $X$  dessa camada e  $WY$  representa o peso referente à entrada do neurônio  $Y$  da camada de entrada, sendo  $W0$  o valor do *bias* e  $X \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12\}$  e  $Y \in \{0,1,2,3,4\}$ .

Na Tabela 15 são apresentados os pesos da camada de saída, onde  $NX$  representa o neurônio  $X$  dessa camada e  $WY$  representa o peso referente à entrada do neurônio  $Y$  da camada escondida, sendo  $W0$  o valor do *bias* e  $X \in \{1,2,3,4,5\}$  e  $Y \in \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12\}$ .

Tabela 14 – Pesos da camada escondida da rede neural.

	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W3</b>	<b>W4</b>	<b>W0</b>
<b>N1</b>	-3,09	-0,29	-3,43	-0,89	3,94
<b>N2</b>	-7,70	-8,44	-6,25	-5,98	2,44
<b>N3</b>	-1,02	-2,42	-2,72	3,07	3,56
<b>N4</b>	-1,45	-2,04	-0,40	1,85	3,75
<b>N5</b>	-2,37	-2,20	-0,97	-0,25	2,48
<b>N6</b>	4,22	-3,60	4,99	-9,20	-0,62
<b>N7</b>	-0,38	-7,79	-6,38	-4,32	0,88
<b>N8</b>	-1,06	-1,46	-2,45	2,83	4,38
<b>N9</b>	-0,46	-0,04	10,23	5,80	0,17
<b>N10</b>	-1,81	-0,80	-1,00	0,77	4,95
<b>N11</b>	3,58	-1,09	-1,00	6,43	-3,77
<b>N12</b>	-0,02	3,70	-8,67	-1,66	-0,32

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 15 – Pesos da camada de saída da rede neural.

	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>
<b>W1</b>	-3,59	-3,43	-2,45	-1,32	2,35
<b>W2</b>	-3,67	3,08	0,57	-2,05	3,40
<b>W3</b>	0,92	-2,77	0,35	-0,11	-1,64
<b>W4</b>	-1,50	-0,53	-2,07	-2,41	-2,73
<b>W5</b>	-2,31	1,08	-2,22	-2,05	0,31
<b>W6</b>	1,03	-4,90	5,47	-2,18	-2,82
<b>W7</b>	-2,51	4,94	2,22	-4,45	1,82
<b>W8</b>	-1,05	0,02	0,19	-0,74	-2,44
<b>W9</b>	2,94	-4,47	-4,05	-2,98	4,51
<b>W10</b>	-2,55	-3,49	-1,72	-0,80	-1,36
<b>W11</b>	0,93	3,69	-2,13	-1,15	-2,01
<b>W12</b>	-3,85	1,26	3,74	4,21	-4,98
<b>W0</b>	-2,26	-4,70	-2,79	-2,21	-0,57

Fonte: Elaboração do autor.

### 2.6.2 Classificação

Durante o processamento de uma imagem de entrada, a classificação de uma microcalcificação detectada é feita através das características extraídas apresentadas à rede neural e da verificação dos valores de saída dos neurônios da camada de saída da RNA. Caso apenas um neurônio possua valor de saída superior ou igual a 0,7, a microcalcificação é classificada como do tipo referente a esse neurônio, caso contrário, é classificada como indefinida.

Os valores de saída de cada um dos neurônios da camada de saída são armazenados para cada uma das microcalcificações na lista de ROIs. Após classificar todas as ROIs detectadas, inicia-se a etapa de pós-processamento.

## 2.7 ETAPA DE PÓS-PROCESSAMENTO

Durante a execução da etapa de pós-processamento o sistema analisa possíveis erros na classificação das microcalcificações detectadas. Assim, caso alguma microcalcificação possua características com valores normalizados acima do valor 1,0 para valor de área, tonalidade média e coeficiente de rugosidade, e 1,5 para proporção entre largura e comprimento, a microcalcificação é considerada um falso-positivo.

Essa verificação é feita para eliminar alguns elementos que podem ser detectados incorretamente como microcalcificações. Após essa análise, a classificação das microcalcificações é armazenada na lista de ROIs e inicia-se a etapa de armazenamento de resultados.

## 2.8 ETAPA DE ARMAZENAMENTO DOS RESULTADOS

O armazenamento dos resultados do processamento da imagem de entrada no cartão de memória possibilita ao usuário do sistema visualizar e analisar os resultados. Nessa etapa é utilizada a linguagem de marcação *Extensible Markup Language* (XML) para gerar o resultado de saída.

A linguagem de marcação XML permite a criação de arquivos de texto estruturados e fáceis de serem gerenciados. Um arquivo XML é composto por marcadores, e cada marcador pode conter outros marcadores e informações, facilitando o armazenamento de dados para posterior consulta (HUNTER et al., 2007).

Os resultados são armazenados na raiz do cartão SD, em um arquivo o nome “saida.xml”, contendo informações sobre a quantidade de microcalcificações de cada tipo detectadas na imagem de entrada, bem como a quantidade de microcalcificações indefinidas, a quantidade total de microcalcificações detectadas e as características extraídas de cada microcalcificação detectada na imagem.

Nas Figuras 25, 26 e 27 é apresentado um exemplo de arquivo de saída no formato XML. O principal marcador (*tag*) do arquivo XML é denominado *resultado*, e dentro desse marcador existem dois marcadores: *Quantidade\_uCA* e *listaUca*.

Figura 25 – Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 1 de 3.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <?xml-stylesheet type="text/xsl" href="estilo.xsl"?>
3 <resultado>
4 <Quantidade_uCA>
5   <Tipo>
6     <Valor>I</Valor>
7     <Quantidade> 1      </Quantidade>
8   </Tipo>
9   <Tipo>
10    <Valor>II</Valor>
11    <Quantidade> 1      </Quantidade>
12  </Tipo>
13  <Tipo>
14    <Valor>III</Valor>
15    <Quantidade> 1      </Quantidade>
16  </Tipo>
17  <Tipo>
18    <Valor>IV</Valor>
19    <Quantidade> 1      </Quantidade>
20  </Tipo>
21  <Tipo>
22    <Valor>V</Valor>
23    <Quantidade> 1      </Quantidade>
24  </Tipo>
25  <Tipo>
26    <Valor>Indefinido</Valor>
27    <Quantidade> 0      </Quantidade>
28  </Tipo>
29  <Total>
30    <Valor>Total</Valor>
31    <Quantidade> 5      </Quantidade>
32  </Total>
33 </Quantidade_uCA>
34 <listaUca>
35   <uCa number="1">
36     <Area> 40      </Area>
37     <TonalidadeMedia> 221.48      </TonalidadeMedia>
38     <Comprimento> 7.07      </Comprimento>
39     <Largura> 7.00      </Largura>
40     <Proporcão> 1.01      </Proporcão>
41     <CoefRugosidade> 0.00      </CoefRugosidade>
42     <Tipo1> -1.00      </Tipo1>
43     <Tipo2> -1.00      </Tipo2>
44     <Tipo3> -1.00      </Tipo3>

```

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 26 – Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 2 de 3.

```

34 <listaUca>
35   <uCa number="1">
36     <Area> 40 </Area>
37     <TonalidadeMedia> 221.48 </TonalidadeMedia>
38     <Comprimento> 7.07 </Comprimento>
39     <Largura> 7.00 </Largura>
40     <Proporcao> 1.01 </Proporcao>
41     <CoefRugosidade> 0.00 </CoefRugosidade>
42     <Tipo1> -1.00 </Tipo1>
43     <Tipo2> -1.00 </Tipo2>
44     <Tipo3> -1.00 </Tipo3>
45     <Tipo4> 1.00 </Tipo4>
46     <Tipo5> -1.00 </Tipo5>
47     <Tipo> 4 </Tipo>
48   </uCa>
49   <uCa number="2">
50     <Area> 30 </Area>
51     <TonalidadeMedia> 229.93 </TonalidadeMedia>
52     <Comprimento> 6.40 </Comprimento>
53     <Largura> 5.66 </Largura>
54     <Proporcao> 1.13 </Proporcao>
55     <CoefRugosidade> 100.00 </CoefRugosidade>
56     <Tipo1> -1.00 </Tipo1>
57     <Tipo2> 1.00 </Tipo2>
58     <Tipo3> -1.00 </Tipo3>
59     <Tipo4> -1.00 </Tipo4>
60     <Tipo5> -1.00 </Tipo5>
61     <Tipo> 2 </Tipo>
62   </uCa>
63   <uCa number="3">
64     <Area> 8 </Area>
65     <TonalidadeMedia> 228.55 </TonalidadeMedia>
66     <Comprimento> 2.83 </Comprimento>
67     <Largura> 1.41 </Largura>
68     <Proporcao> 2.00 </Proporcao>
69     <CoefRugosidade> 57.00 </CoefRugosidade>
70     <Tipo1> -1.00 </Tipo1>
71     <Tipo2> -1.00 </Tipo2>
72     <Tipo3> 1.00 </Tipo3>
73     <Tipo4> -1.00 </Tipo4>
74     <Tipo5> -1.00 </Tipo5>
75     <Tipo> 3 </Tipo>
76   </uCa>
77   <uCa number="4">

```

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 27 – Exemplo de arquivo XML de saída – Parte 3 de 3.

```

Código-fonte: fi
Arquivo  Editar  Exibir  Ajuda
64      <Area> 8      </Area>
65      <TonalidadeMedia> 228.55      </TonalidadeMedia>
66      <Comprimento> 2.83      </Comprimento>
67      <Largura> 1.41      </Largura>
68      <Proporcao> 2.00      </Proporcao>
69      <CoefRugosidade> 57.00      </CoefRugosidade>
70      <Tipo1> -1.00      </Tipo1>
71      <Tipo2> -1.00      </Tipo2>
72      <Tipo3> 1.00      </Tipo3>
73      <Tipo4> -1.00      </Tipo4>
74      <Tipo5> -1.00      </Tipo5>
75      <Tipo> 3      </Tipo>
76      </uCa>
77      <uCa number="4">
78          <Area> 28      </Area>
79          <TonalidadeMedia> 149.04      </TonalidadeMedia>
80          <Comprimento> 6.40      </Comprimento>
81          <Largura> 2.83      </Largura>
82          <Proporcao> 2.26      </Proporcao>
83          <CoefRugosidade> 66.00      </CoefRugosidade>
84          <Tipo1> 1.00      </Tipo1>
85          <Tipo2> -1.00      </Tipo2>
86          <Tipo3> -1.00      </Tipo3>
87          <Tipo4> -1.00      </Tipo4>
88          <Tipo5> -1.00      </Tipo5>
89          <Tipo> 1      </Tipo>
90      </uCa>
91      <uCa number="5">
92          <Area> 19      </Area>
93          <TonalidadeMedia> 212.27      </TonalidadeMedia>
94          <Comprimento> 8.60      </Comprimento>
95          <Largura> 1.41      </Largura>
96          <Proporcao> 6.08      </Proporcao>
97          <CoefRugosidade> 37.00      </CoefRugosidade>
98          <Tipo1> -1.00      </Tipo1>
99          <Tipo2> -1.00      </Tipo2>
100         <Tipo3> -1.00      </Tipo3>
101         <Tipo4> -1.00      </Tipo4>
102         <Tipo5> 1.00      </Tipo5>
103         <Tipo> 5      </Tipo>
104     </uCa>
105 </listaUca>
106 </resultado>
107

```

Fonte: Elaboração do autor.

O marcador *Quantidade\_uCA* armazena informações sobre a quantidade de microcalcificações de cada tipo detectadas na imagem de entrada. Assim, para cada tipo existe um marcador chamado *Tipo*, onde o marcador *Valor* informa qual o tipo de microcalcificação e o marcador *Quantidade* informa a quantidade de microcalcificações detectadas do tipo informado.

O marcador *Tipo* pode possuir seis valores diferentes: I, II, III, IV ou V, para o respectivo tipo de classificação, ou Indefinido, para microcalcificações detectadas como pertencentes a nenhum dos tipos anteriores.

A informação sobre a quantidade total de microcalcificações detectadas na imagem é feita pelo marcador *Total*, onde o marcador *Valor* indica o armazenamento do total de microcalcificações detectadas, e o marcador *Quantidade* armazena a quantidade total de microcalcificações detectadas na imagem de entrada.

O marcador *ListaUca* armazena dados sobre todas as microcalcificações encontradas na imagem, sendo que a informação de cada microcalcificação está armazenada em seu respectivo marcador *uCa*. A descrição dos marcadores contidos dentro dos marcadores *uCa* é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Descrição dos marcadores utilizados no arquivo de resultados do processamento de uma imagem de entrada.

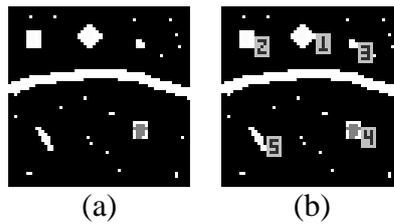
<b>Marcador</b>	<b>Descrição</b>
Area	Valor médio de área dessa microcalcificação.
TonalidadeMedia	Valor médio de tonalidade dessa microcalcificação.
Comprimento	Valor de comprimento dessa microcalcificação.
Largura	Valor de largura dessa microcalcificação.
Proporcao	Valor da proporção entre o comprimento e a largura dessa microcalcificação.
CoefRugosidade	Coefficiente de rugosidade calculado dessa microcalcificação.
Tipo1	Valor de saída do neurônio da camada de saída da RNA referente ao tipo I da classificação de Le Gal, para essa microcalcificação.
Tipo2	Valor de saída do neurônio da camada de saída da RNA referente ao tipo II da classificação de Le Gal, para essa microcalcificação.
Tipo3	Valor de saída do neurônio da camada de saída da RNA referente ao tipo III da classificação de Le Gal, para essa microcalcificação.
Tipo4	Valor de saída do neurônio da camada de saída da RNA referente ao tipo IV da classificação de Le Gal, para essa microcalcificação.
Tipo5	Valor de saída do neurônio da camada de saída da RNA referente ao tipo V da classificação de Le Gal, para essa microcalcificação.
Tipo	Número entre 1 e 5 representando o tipo dessa microcalcificação. Um valor -1 indica tipo indefinido.

Fonte: Elaboração do autor.

A numeração da microcalcificação de acordo com o atributo *number* do marcador *uCa* é utilizada para que o usuário possa identificar a microcalcificação na imagem de entrada. Para isso, é armazenada na raiz do cartão de memória uma imagem idêntica à entrada, porém com uma imagem de uma numeração crescente calculada a partir do número 1 ao lado de

cada microcalcificação detectada. Essa imagem contendo as numerações das microcalcificações é armazenada na raiz do cartão SD com o nome “num.bmp”. Um exemplo pode ser visto na Figura 28, onde em (a) é apresentada uma imagem de entrada e em (b) a versão dessa imagem de entrada com as microcalcificações automaticamente numeradas pelo *software*.

Figura 28 – Exemplo de numeração automática das microcalcificações.



Fonte: Elaboração do autor.

Para realizar a numeração automática, armazena-se para cada número uma matriz de tamanho  $5 \times 7$  *pixels* contendo uma imagem deste número. Essa imagem é copiada na imagem numerada ao lado da microcalcificação referente a esse número. Na Figura 29 são apresentadas as matrizes para cada um dos algarismos utilizados, sendo que os *pixels* das matrizes que formam o número estão destacados com tonalidade mais escura, e os *pixels* que formam o fundo da imagem estão destacados com tonalidade mais clara. Dentro de cada elemento da matriz está o valor do *pixel* utilizado.

Figura 29 – Matrizes utilizadas na numeração automática das microcalcificações.

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	192	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(a) Zero

192	192	192	192	192
192	192	48	192	192
192	192	48	192	192
192	192	48	192	192
192	192	48	192	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(b) Um

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	48	192	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(c) Dois

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	48	48	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(c) Três

192	192	192	192	192
192	48	192	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	192	192

(d) Quatro

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	192	192

(e) Cinco

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(e) Seis

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	48	192
192	192	192	192	192

(f) Sete

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(g) Oito

192	192	192	192	192
192	48	48	48	192
192	48	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	48	192
192	48	48	48	192
192	192	192	192	192

(h) Nove

Fonte: Elaboração do autor.

Para facilitar a visualização dos resultados, foi utilizado um arquivo do tipo *Extensible Stylesheet Language Transformations* (XSLT), que é referenciado na segunda linha do arquivo XML. Esse arquivo é chamado “estilo.xml” e também é armazenado na raiz do cartão SD. Assim, ao abrir o arquivo de resultados XML em um navegador compatível, utiliza-se o arquivo XSLT para exibir o arquivo XML com uma formatação mais amigável ao usuário, conforme pode ser visto nas Figuras 30 e 31. O arquivo de resultados é apresentado com as informações sobre o processamento em duas tabelas, juntamente com a imagem (em tamanho fixo de 120x120 pixels) contendo a numeração das microcalcificações para facilitar a sua visualização. No final do arquivo são apresentadas as informações sobre cada coluna das duas tabelas contidas no arquivo.

Figura 30 – Visualização do arquivo de resultados XML em um navegador – Parte 1 de 2.

Resultado da Classificação

file:///H:/SAIDA.XML

Quantidade de microcalcificações detectadas

Tipo <sup>1</sup>	Quantidade <sup>2</sup>
I	1
II	1
III	1
IV	1
V	1
Indefinido	0

Especificações das microcalcificações detectadas

Código <sup>3</sup>	Área <sup>4</sup>	Tonalidade <sup>5</sup>	Comprimento <sup>6</sup>	Largura <sup>7</sup>	Proporção <sup>8</sup>	Rugosidade <sup>9</sup>	N1 <sup>10</sup>	N2 <sup>11</sup>	N3 <sup>12</sup>	N4 <sup>13</sup>	N5 <sup>14</sup>	Tipo <sup>15</sup>
1	40	221.48	7.07	7.00	1.01	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	4
2	30	229.93	6.40	5.66	1.13	100.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	2
3	8	228.55	2.83	1.41	2.00	57.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	3
4	28	149.04	6.40	2.83	2.26	66.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1
5	19	212.27	8.60	1.41	6.08	37.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	5

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 31 – Visualização do arquivo de resultados XML em um navegador – Parte 2 de 2.

**Especificações das microcalcificações detectadas**

Código <sup>3</sup>	Área <sup>4</sup>	Tonalidade <sup>5</sup>	Comprimento <sup>6</sup>	Largura <sup>7</sup>	Proporção <sup>8</sup>	Rugosidade <sup>9</sup>	N1 <sup>10</sup>	N2 <sup>11</sup>	N3 <sup>12</sup>	N4 <sup>13</sup>	N5 <sup>14</sup>	Tipo <sup>15</sup>
1	40	221.48	7.07	7.00	1.01	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	4
2	30	229.93	6.40	5.66	1.13	100.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	2
3	8	228.55	2.83	1.41	2.00	57.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	3
4	28	149.04	6.40	2.83	2.26	66.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1
5	19	212.27	8.60	1.41	6.08	37.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	5

<sup>1</sup> Tipo de microcalcificação de acordo com a classificação de Le Gal. O tipo "Indefinido" representa uma microcalcificação que não pode ser classificada em um dos cinco tipos definidos por Le Gal.  
<sup>2</sup> Quantidade de microcalcificações desse tipo detectadas na imagem analisada.  
<sup>3</sup> Indica o código da microcalcificação de acordo com a imagem que possui as microcalcificações numeradas.  
<sup>4</sup> Valor de área da microcalcificação, em pixels.  
<sup>5</sup> Valor médio de tonalidade da microcalcificação.  
<sup>6</sup> Valor do comprimento da microcalcificação, em pixels.  
<sup>7</sup> Valor da largura da microcalcificação, em pixels.  
<sup>8</sup> Valor da proporção entre a largura e o comprimento da microcalcificação. Esse cálculo é feito sempre com o maior valor sendo o dividendo, e o menor valor o divisor.  
<sup>9</sup> Valor do coeficiente de rugosidade da microcalcificação.  
<sup>10</sup> Valor de saída do neurônio referente ao tipo I da classificação de Le Gal.  
<sup>11</sup> Valor de saída do neurônio referente ao tipo II da classificação de Le Gal.  
<sup>12</sup> Valor de saída do neurônio referente ao tipo III da classificação de Le Gal.  
<sup>13</sup> Valor de saída do neurônio referente ao tipo IV da classificação de Le Gal.  
<sup>14</sup> Valor de saída do neurônio referente ao tipo V da classificação de Le Gal.  
<sup>15</sup> Indica o tipo da microcalcificação de acordo com a classificação de Le Gal.

ESMiCa

Fonte: Elaboração do autor.

Os arquivos da imagem numerada (num.bmp) e de estilo (estilo.xml) são armazenados na raiz do cartão SD de forma oculta, para que ao acessar o gerenciador de arquivos, o usuário veja apenas o arquivo de resultados XML (a menos que a opção do sistema operacional para exibir arquivos ocultos esteja habilitada).

O armazenamento da imagem de saída numerada no formato PCX não pôde ser realizado, pois os navegadores que foram testados para exibir o arquivo XML não exibem imagens PCX, o que levou à implementação do armazenamento de imagens no formato de arquivos *Bitmap Image File* (BMP). Da mesma forma como detalhado na seção 2.2, é necessário conhecer o cabeçalho do formato de arquivos BMP para que se possa armazenar uma imagem nesse formato. Na Tabela 17 são apresentados os campos do cabeçalho do formato BMP (TED GRUBER SOFTWARE, 2001b).

Tabela 17 – Cabeçalho de um arquivo BMP.

Tamanho (bytes)	Descrição
2	Campo utilizado para identificar o arquivo. Deve possuir o valor $42_{16}$ (primeiro <i>byte</i> ) e $4D_{16}$ (segundo <i>byte</i> ).
4	Tamanho do arquivo, em <i>bytes</i> (valor impreciso).
4	Valores reservados pela aplicação (zeros).
4	<i>Byte</i> onde se iniciam os dados dos <i>pixels</i> da imagem.
4	Tamanho do cabeçalho, em <i>bytes</i> .
4	Largura da imagem, em <i>pixels</i> .
4	Altura da imagem, em <i>pixels</i> .
2	Número de planos utilizados na imagem.
2	Quantidade de <i>bits</i> por <i>pixel</i> na imagem.
4	Tipo de codificação utilizada.
4	Tamanho, em <i>bytes</i> , da região onde são armazenados os dados dos <i>pixels</i> da imagem.
4	Resolução horizontal da imagem para impressão (valor impreciso).
4	Resolução vertical da imagem para impressão (valor impreciso).
4	Número de cores da imagem (zero para o padrão).
4	Número de cores importantes da imagem (zero para o padrão).

Fonte: Elaboração do autor.

Os dados dos *pixels* em um arquivo no formato BMP estão localizados depois do cabeçalho. Primeiramente são informados os valores dos *pixels* da última linha, depois da penúltima, e assim sucessivamente, sendo os *pixels* da primeira linha da imagem os últimos do arquivo.

Para cada linha da imagem, o tamanho total de *pixels* em cada linha deve ser um número múltiplo de quatro. Em casos negativos, deve-se completar os *bytes* da linha até que ela possua um tamanho múltiplo de quatro. Dessa forma, uma imagem com 40 *pixels* de largura possui valor de largura que é múltiplo de quatro e que não precisa de ajustes. Já uma

imagem com 39 *pixels* de largura possui valor de largura que não é múltiplo de quatro; dessa forma, é necessário completar cada linha dessa imagem com um *pixel* com valores que serão desprezados na sua leitura.

Apresenta-se na Figura 32 dois exemplos de arquivos no formato BMP. Em (a), têm-se os valores dos *pixels* de uma imagem, e em (c), os dados em hexadecimal de seu cabeçalho e seus dados.

Figura 32 – Exemplo de cabeçalho de imagens no formato BMP.

255	240	175	160
255	240	175	160
255	240	175	160
255	240	175	160

(a) Valores dos *pixels* da imagem A

255	240	175
255	240	175
255	240	175

(b) Valores dos *pixels* da imagem B

```

42 4d 66 00 00 00 00 00 00 00 36 00 00 00 28 00
00 00 04 00 00 00 04 00 00 00 01 00 18 00 00 00
00 00 30 00 00 00 13 0b 00 00 13 0b 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 ff ff ff f0 f0 f0 af af af a0
a0 a0 ff ff ff f0 f0 f0 af af af a0 a0 a0 ff ff
ff f0 f0 f0 af af af a0 a0 a0 ff ff ff f0 f0 f0
af af af a0 a0 a0 .. .. .. .. .. .. .. ..

```

(c) Cabeçalho (em hexadecimal) referente a (a)

```

42 4d 66 00 00 00 00 00 00 00 36 00 00 00 28 00
00 00 03 00 00 00 03 00 00 00 01 00 18 00 00 00
00 00 30 00 00 00 13 0b 00 00 13 0b 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 ff ff ff f0 f0 f0 af af af a0
a0 a0 ff ff ff f0 f0 f0 af af af a0 a0 a0 ff ff
ff f0 f0 f0 af af af a0 a0 a0 .. .. .. .. .. ..

```

(d) Cabeçalho (em hexadecimal) referente a (b) B

Fonte: Elaboração do autor.

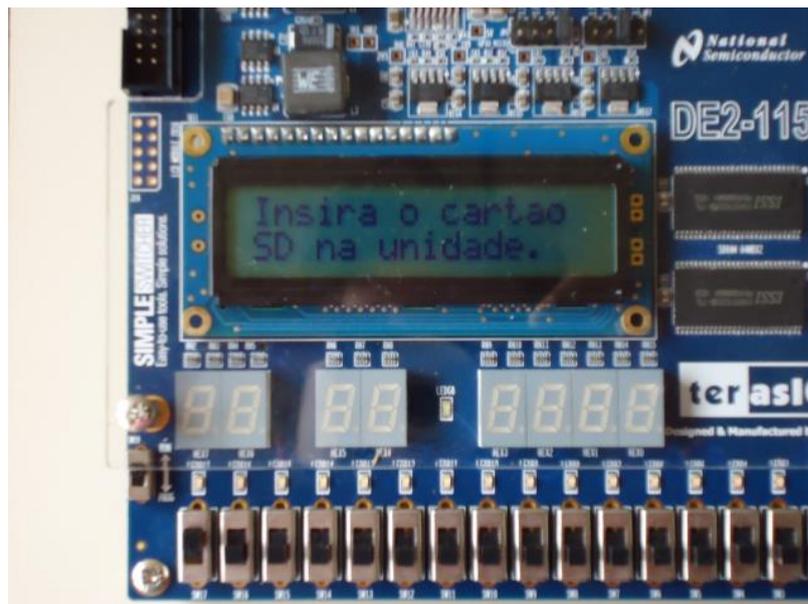
É possível visualizar na Figura 32(a) que o valor 255 da última linha da imagem é repetido três vezes, por se tratar de uma imagem de 24 *bits* (primeiro conjunto de “ff” em (c)); em seguida, têm-se os dados do valor 240 (primeiro conjunto de “f0” em (c)); em seguida, têm-se os dados do valor 175 (primeiro conjunto de “af” em (c)); e em seguida, têm-se os dados do valor 160 (primeiro conjunto de “a0” em (c)). Devido a essa imagem possuir tamanho 4x4 *pixels*, não é necessário fazer o preenchimento, e os próximos dados são referentes à terceira linha. Já em (b), têm-se os valores dos *pixels* de uma imagem com

tamanho 3 x 3 *pixels*, e em (d), os dados em hexadecimal de seu cabeçalho e dos dados da imagem. Nesse caso, como falta um *pixel* em cada linha para a linha possuir quantidade de *pixels* que múltiplo de quatro, é necessário um *pixel* a mais para fazer essa acomodação. Assim, os valores “a0” presentes em (d) são desprezados, utilizados apenas para esse propósito.

## 2.9 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A primeira ação que o sistema realiza é aguardar a inserção de um cartão SD no leitor da placa. Enquanto o cartão não é inserido, é apresentada no LCD uma mensagem informando que o usuário deve inserir um cartão SD, conforme imagem apresentada na Figura 33.

Figura 33 – Mensagem de espera pela inserção de cartão SD.

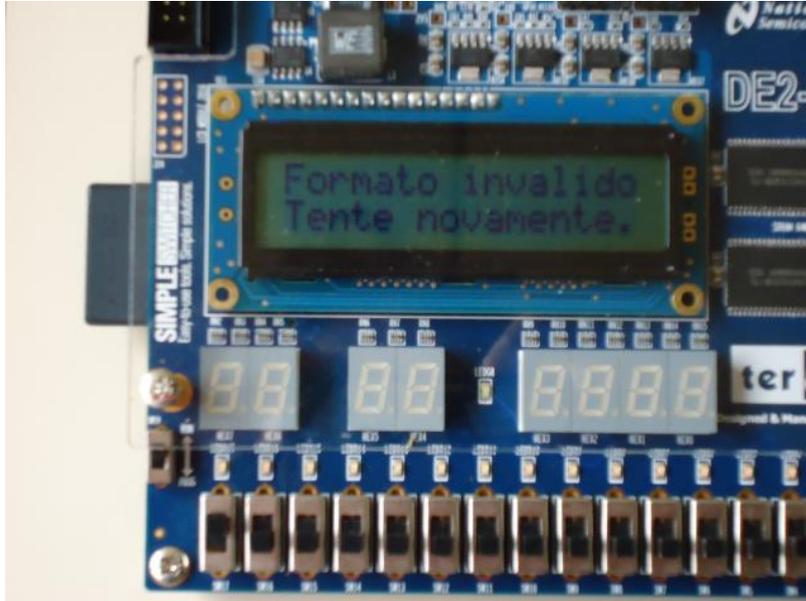


Fonte: Elaboração do autor.

O pacote de blocos de propriedade intelectual universitário da Altera permite que o cartão SD esteja formatado apenas no sistema de arquivos FAT16, sendo que outros formatos não são reconhecidos. Dessa forma, se o cartão SD não estiver nesse formato, uma mensagem de erro é apresentada ao usuário, conforme imagem apresentada na Figura 34. Caso contrário, o sistema lê as imagens no formato PCX que estão dentro da pasta denominada “entrada”, na raiz do cartão, e armazena os nomes em um vetor para posterior utilização. O nome da

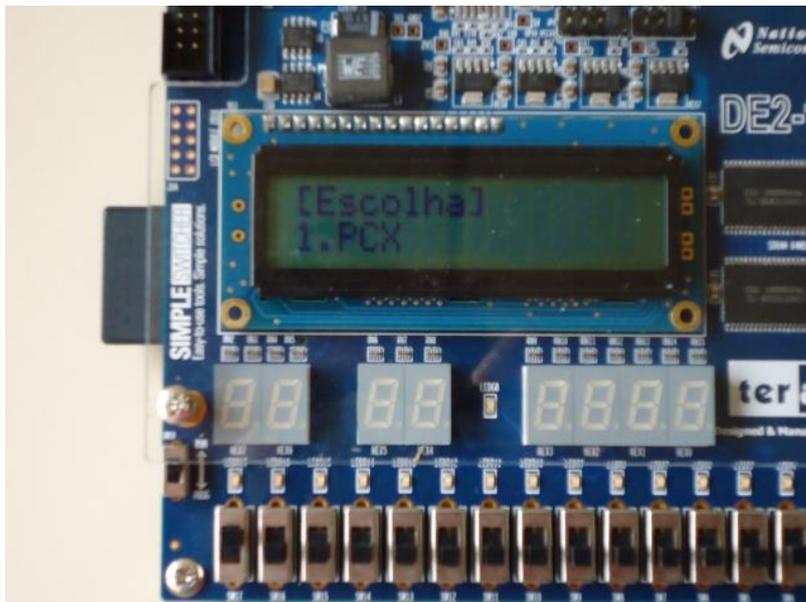
primeira imagem encontrada no cartão é apresentado no LCD, conforme imagem apresentada na Figura 35.

Figura 34 – Mensagem de erro ao inserir cartão SD com formato inválido.



Fonte: Elaboração do autor.

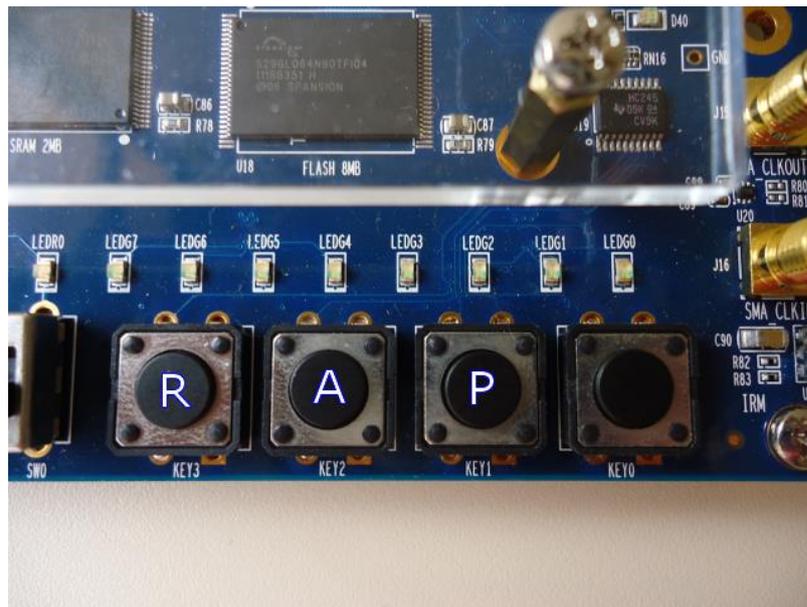
Figura 35 – Escolha de imagem de entrada.



Fonte: Elaboração do autor.

Para trocar a imagem que será processada, deve-se pressionar o botão R para voltar as imagens na lista, ou o botão A, para avançar as imagens. Dessa forma, o nome da imagem selecionada é exibido no LCD. Para confirmar a imagem que será processada, é necessário que o usuário pressione o botão P. Na Figura 36 são apresentados os botões de pressão denominados R, A e P, denominados Retroceder, Avançar e Processar, respectivamente.

Figura 36 – Botões de pressão utilizados para a escolha da imagem de entrada.



Fonte: Elaboração do autor.

Após o início do processamento da imagem escolhida, informações sobre o processamento são apresentadas no LCD. Das etapas do fluxograma apresentado na Figura 4, a primeira etapa de aquisição não gera mensagem com informação, por ser muito rápida, e as mensagens apresentadas ao usuário referem-se às demais etapas, de acordo com a Tabela 18.

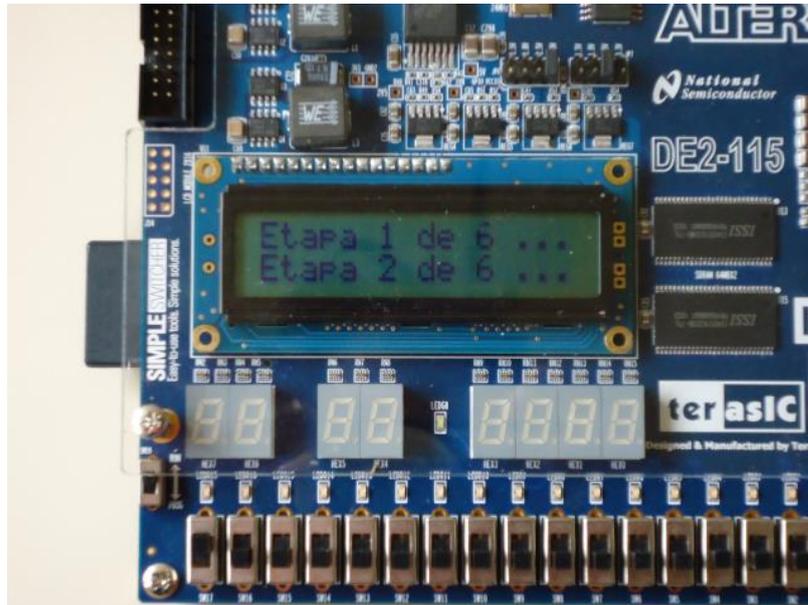
Tabela 18 – Relação entre o número e o nome da etapa, de acordo com as mensagens de progresso apresentadas ao usuário.

Número da Etapa	Nome da Etapa
1	Pré-processamento
2	Decomposição <i>wavelet</i>
3	Crescimento de região
4	Classificação
5	Pós-processamento
6	Armazenamento dos resultados

Fonte: Elaboração do autor.

As mensagens de progresso, apresentadas durante o processamento da imagem de entrada, são apresentadas como no exemplo da Figura 37, onde é apresentada a mensagem de progresso da etapa 2.

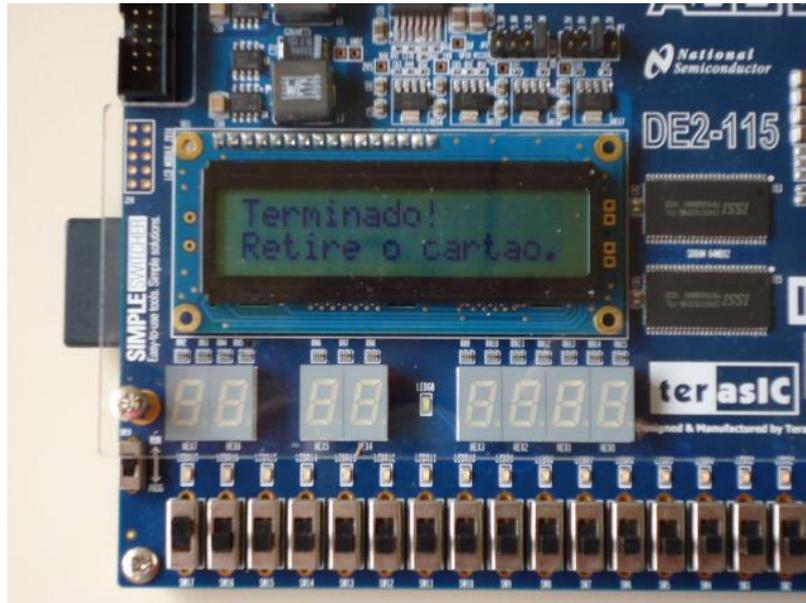
Figura 37 – Mensagem de progresso apresentada ao iniciar a etapa 2 de 6.



Fonte: Elaboração do autor.

Ao fim do processamento da imagem, é apresentada no LCD uma mensagem de sucesso, informando ao usuário que o cartão SD já pode ser removido, conforme apresentado na imagem da Figura 38. Após a remoção do cartão SD, o sistema volta ao seu estado inicial.

Figura 38 – Mensagem apresentada ao término do processamento da imagem de entrada.



Fonte: Elaboração do autor.

## 2.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE ESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados detalhes de como o *hardware* e o *software* do sistema foram projetados. No próximo capítulo são discutidos os resultados obtidos pelo sistema no processamento das imagens de teste utilizadas.

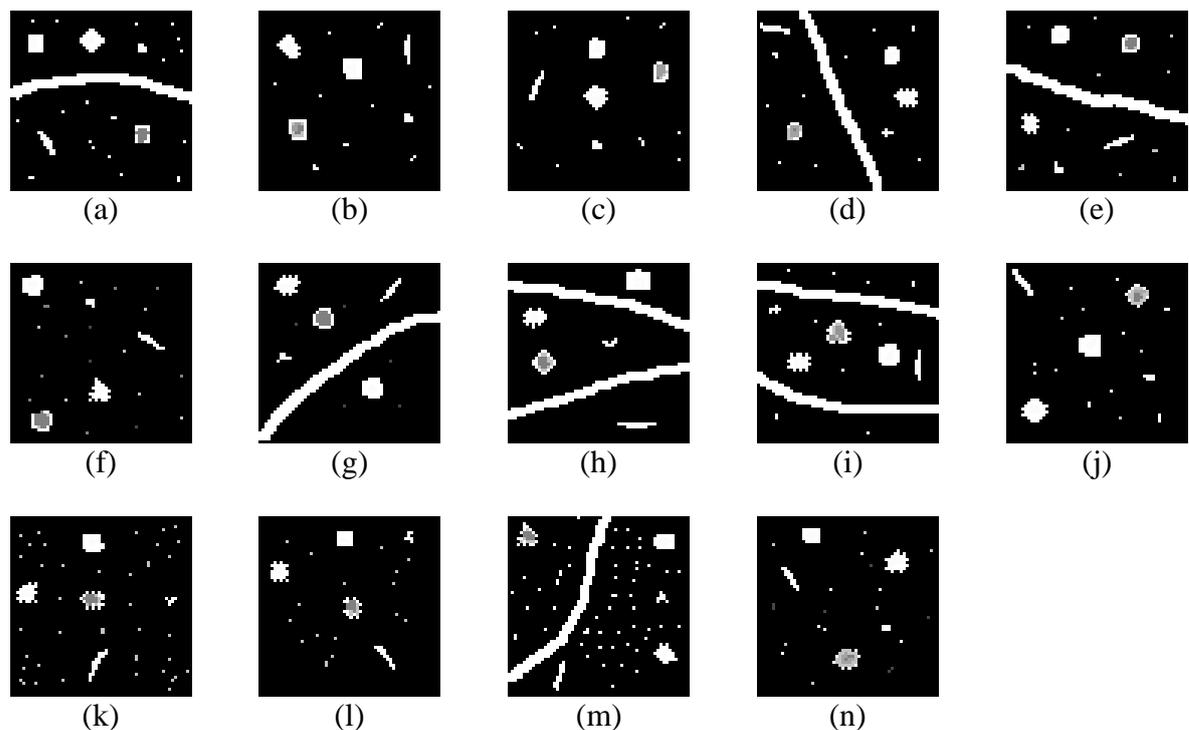
### 3 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos pelo sistema utilizando-se imagens de microcalcificações simuladas bem como imagens reais obtidas em Pereira (1995).

#### 3.1 PROCESSAMENTO DE IMAGENS SIMULADAS

As imagens simuladas são baseadas nas informações obtidas em (ZANCA et al., 2008; PEREIRA, 1995), e foram criadas com base na documentação dos tipos de microcalcificação de acordo com a classificação de Le Gal. No total, foram criadas quatorze imagens, cada uma contendo uma simulação de cada tipo de microcalcificação, e simulações de outros elementos que não são microcalcificações, como veias e falsos positivos. Cada imagem simulada possui 60x60 *pixels* de tamanho e foram todas salvas no formato de arquivos PCX, sendo apresentadas na Figura 39. A análise dos resultados é feita na seção 3.2.

Figura 39 – Imagens simuladas utilizadas nos testes.



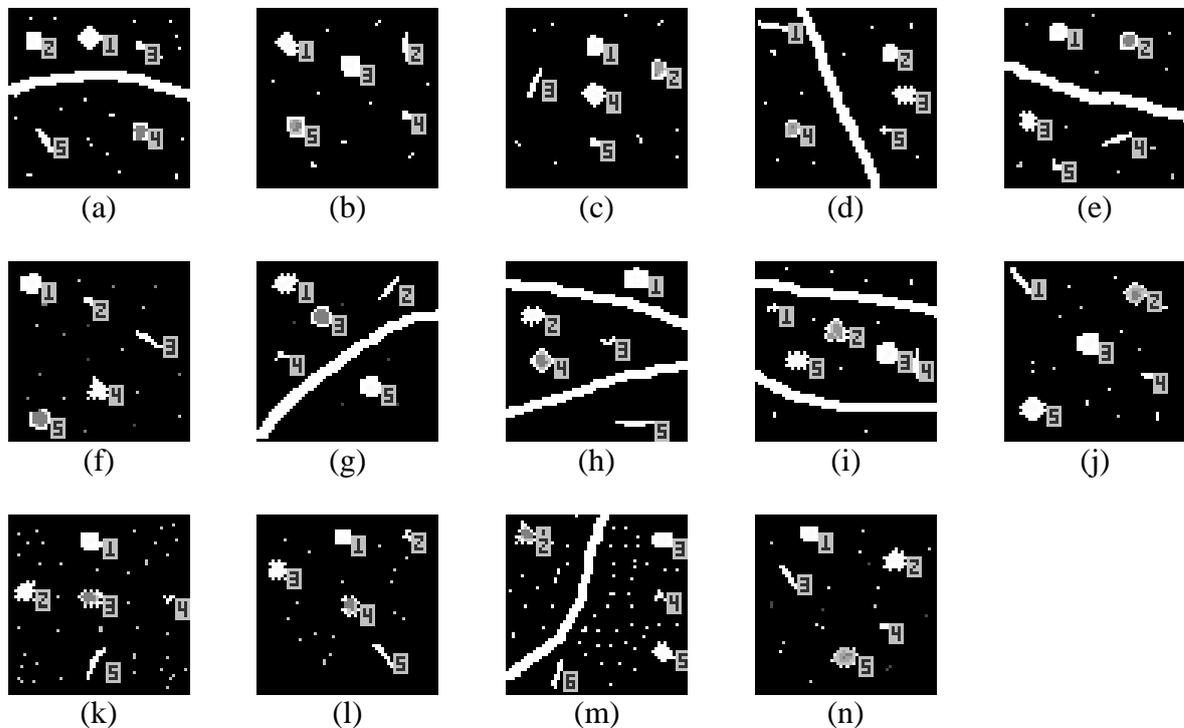
Fonte: Elaboração do autor.

As imagens contendo as microcalcificações detectadas, classificadas e numeradas em cada uma das imagens da Figura 39 são apresentadas na Figura 40, e o resultado da extração de características e classificação dessas imagens pode ser visto da Tabela 19 até a Tabela 32.

Nessas tabelas, as colunas possuem os seguintes significados:

- número: representa o número da microcalcificação detectada, de acordo com a Figura 40;
- tipo: representa o tipo da microcalcificação previamente conhecido;
- área: representa a quantidade de *pixels* da microcalcificação;
- tonalidade: representa a tonalidade média dos *pixels* pertencentes à microcalcificação;
- proporção: representa a proporção entre a altura e a largura da microcalcificação;
- rugosidade: representa o valor do coeficiente de rugosidade da microcalcificação;
- tipo detectado: representa o tipo em que a microcalcificação foi classificada pelo sistema. Um asterisco ao lado do tipo detectado indica que a microcalcificação foi classificada incorretamente pelo sistema.

Figura 40 – Resultados obtidos no processamento das imagens da Figura 39.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 19 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(a).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	IV	40	235,41	1,01	0,00	IV
2	II	30	235,15	1,13	100,00	II
3	III	8	235,02	2,83	57,00	III
4	I	30	153,27	1,13	100,00	I
5	V	19	252,49	6,08	37,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 20 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(b).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	IV	38	252,91	2,69	5,00	IV
2	V	15	251,30	7,07	86,00	V
3	II	40	253,21	1,38	85,00	II
4	III	8	252,02	2,00	57,00	III
5	I	34	201,88	1,38	89,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 21 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(c).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	31	253,46	1,13	70,00	II
2	I	30	186,35	1,13	52,00	I
3	V	18	252,80	9,85	55,00	V
4	IV	37	252,43	1,01	0,00	IV
5	III	8	253,02	2,00	57,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 22 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(d).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	19	252,08	9,49	68,00	V
2	II	27	252,94	1,33	60,00	II
3	IV	33	253,56	1,46	5,00	IV
4	I	26	162,15	1,33	47,00	I
5	III	6	252,35	3,00	40,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 23 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(e).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	33	254,04	1,51	64,00	II
2	I	26	198,24	4,53	60,00	I
3	IV	28	252,45	1,37	12,00	IV
4	V	18	252,35	9,85	52,00	V
5	III	8	251,03	2,55	100,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 24 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(f).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	41	253,64	1,27	70,00	II
2	III	7	253,87	2,00	85,00	III
3	V	17	251,26	9,43	12,00	V
4	IV	32	253,51	1,58	15,00	IV
5	I	41	147,26	1,27	70,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 25 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(g).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	IV	39	252,76	2,06	30,00	IV
2	V	15	252,35	9,22	14,00	V
3	I	28	193,69	2,37	56,00	I
4	III	7	251,60	4,12	28,00	III
5	II	42	253,49	1,27	100,00	II

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 26 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(h).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	50	253,41	1,22	83,00	II
2	IV	34	253,37	2,43	0,00	IV
3	III	8	251,03	4,12	25,00	III
4	I	28	215,56	3,54	14,00	I
5	V	20	250,63	12,00	85,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 27 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(i).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	III	7	251,60	1,58	16,00	III
2	I	42	181,95	1,08	17,00	I
3	II	43	253,15	1,27	90,00	II
4	V	15	252,35	7,07	86,00	V
5	IV	35	252,28	1,08	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 28 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(j).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	21	251,98	10,00	33,00	V
2	I	33	171,97	3,54	26,00	I
3	II	45	253,06	1,10	95,00	II
4	III	7	251,60	3,16	71,00	III
5	IV	48	253,51	1,51	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 29 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(k).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	37	253,50	1,27	68,00	II
2	IV	34	253,13	1,38	15,00	IV
3	I	33	163,12	1,46	5,00	I
4	III	5	253,41	2,83	0,00	III
5	V	20	252,22	11,18	21,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 30 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(l).

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	25	253,41	1,00	93,00	II
2	III	7	251,60	2,00	57,00	III
3	IV	32	253,51	1,25	11,00	IV
4	I	28	170,02	1,37	12,00	I
5	V	16	251,53	9,22	13,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 31 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(m).

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	-	9	242,73	5,10	22,00	III*
2	I	16	184,72	3,04	7,00	I
3	II	33	252,59	1,19	72,00	II
4	III	8	250,04	3,16	25,00	III
5	IV	31	253,98	1,21	17,00	IV
6	V	17	252,67	8,54	41,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 32 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 40(n).

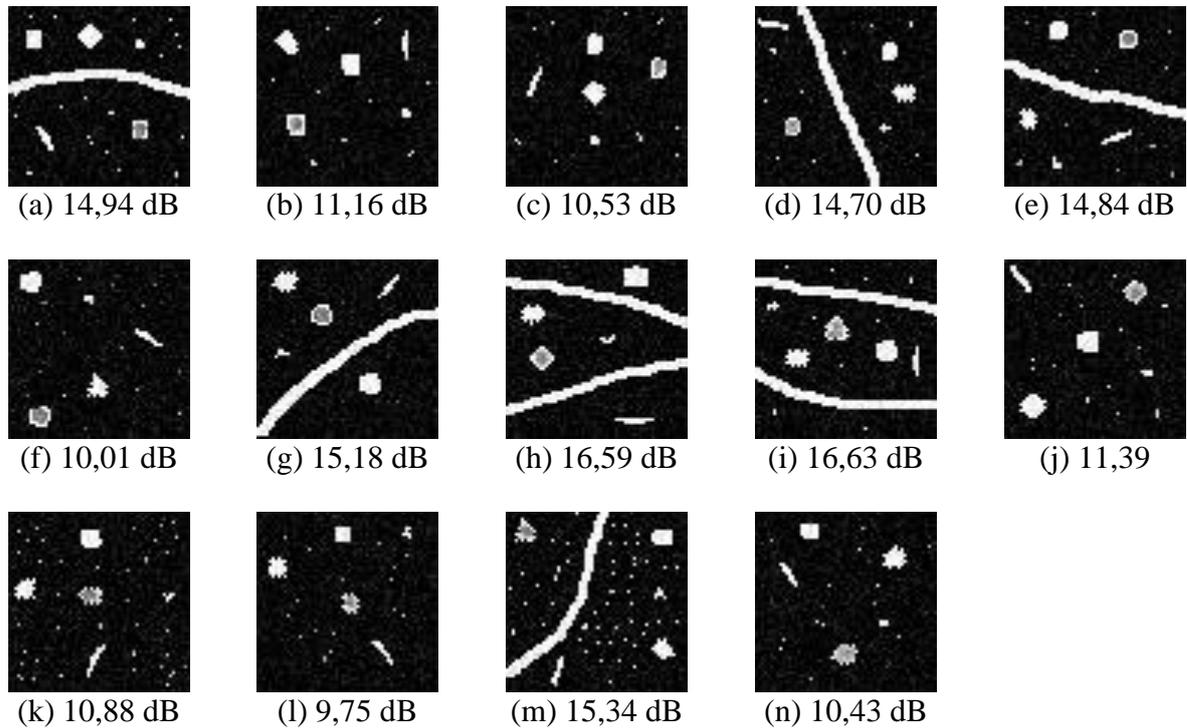
Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	II	29	252,54	1,13	88,00	II
2	IV	39	253,17	1,35	38,00	IV
3	V	16	252,52	8,60	40,00	V
4	III	6	251,03	1,58	100,00	III
5	I	38	157,74	1,37	33,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Além das imagens presentes na Figura 39, foi utilizado o *software* SciLab (SCILAB ENTERPRISES S. A. S, 2013) para adicionar ruídos do tipo gaussiano nessas imagens, para verificar a eficácia do método e analisar o seu comportamento quando as imagens estão ruidosas, visto o pequeno tamanho das microcalcificações nas imagens analisadas.

Para isso, foi utilizada a função denominada “imnoise” do *toolbox SciLab Image Processing Toolbox* (SIP), alterando-se o valor do argumento denominado “variância” para essa distribuição. Na Figura 41 são apresentadas as imagens resultantes da adição de ruído gaussiano às imagens da Figura 39, utilizando o argumento 0,01 para a variância. Abaixo de cada imagem encontra-se o valor da taxa de sinal-ruído (*Signal-To-Noise Ratio* – SNR) em relação à imagem original, que foi calculado utilizando o *software* ImageJ (RASBAND, 2013), com a utilização de um *plugin* desenvolvido para realizar esse cálculo (SAGE, 2013).

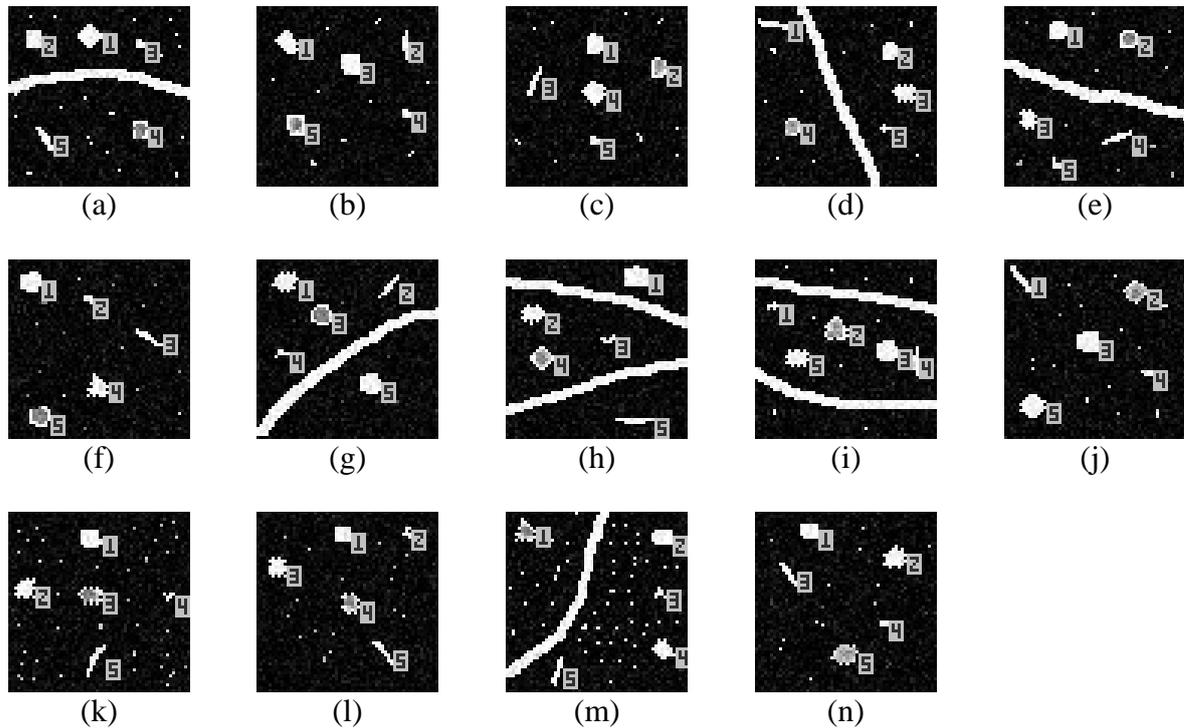
Figura 41 – Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,01 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Destaca-se que as imagens com ruídos foram geradas três vezes, e os mesmos resultados foram apresentados ao se processar as imagens obtidas em cada uma das vezes. As imagens contendo as microcalcificações detectadas e numeradas em cada uma das imagens da Figura 41 são apresentadas na Figura 42, e o resultado da extração de características e classificação dessas imagens pode ser visto da Tabela 33 até a Tabela 46.

Figura 42 – Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,01 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 33 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(a), utilizando-se 0,01 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	40	236,74	1,01	0,00	IV
2	II	30	226,23	1,13	100,00	II
3	III	8	232,91	2,00	57,00	III
4	I	29	150,33	1,13	80,00	I
5	V	19	240,98	6,08	37,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 34 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42 (b) , utilizando-se 0,01 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	38	235,16	2,69	5,00	IV
2	V	15	231,56	7,07	86,00	V
3	II	40	239,12	1,38	85,00	II
4	III	8	232,24	2,00	57,00	III
5	I	32	201,07	2,76	72,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 35 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(c), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	31	236,55	1,13	70,00	II
2	I	29	179,27	1,13	43,00	I
3	V	18	236,07	9,85	55,00	V
4	IV	37	235,89	1,01	0,00	IV
5	III	8	227,65	2,00	57,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 36 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(d), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	19	234,67	9,49	68,00	V
2	II	27	235,14	1,33	60,00	II
3	IV	33	232,74	1,46	5,00	IV
4	I	26	158,77	1,33	47,00	I
5	III	6	223,02	3,00	40,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 37 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(e), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	33	238,75	1,51	64,00	II
2	I	27	186,03	1,51	26,00	I
3	IV	28	239,77	1,37	12,00	IV
4	V	18	239,26	9,85	52,00	V
5	III	8	224,52	2,55	100,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 38 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(f), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	41	234,23	1,27	70,00	II
2	III	7	233,45	2,00	85,00	III
3	V	17	240,37	9,43	12,00	V
4	IV	32	234,02	1,58	15,00	IV
5	I	34	159,86	2,55	48,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 39 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(g), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	IV	39	232,21	2,06	30,00	IV
2	V	15	233,44	9,22	14,00	V
3	I	30	177,26	1,19	46,00	I
4	III	7	237,49	4,12	28,00	III
5	II	42	233,03	1,27	100,00	II

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 40 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(h), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	50	234,87	1,22	83,00	V*
2	IV	34	237,60	2,43	0,00	IV
3	III	8	233,15	4,12	25,00	III
4	I	31	195,85	3,54	7,00	I
5	V	20	238,43	12,00	85,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 41 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(i), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	III	7	238,30	1,58	16,00	III
2	I	38	186,43	2,69	0,00	I
3	II	43	231,24	1,27	90,00	-*
4	V	15	230,79	7,07	86,00	V
5	IV	35	236,89	1,08	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 42 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(j), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	21	231,40	10,00	33,00	V
2	I	34	163,41	3,54	15,00	I
3	II	45	233,58	1,10	95,00	II
4	III	7	236,67	3,16	71,00	III
5	IV	48	233,99	1,51	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 43 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(k), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	37	236,60	1,27	68,00	II
2	IV	34	236,32	1,38	15,00	IV
3	I	31	152,22	3,64	17,00	I
4	III	5	238,55	2,83	0,00	III
5	V	20	230,40	11,18	21,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 44 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(l), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	25	228,40	1,00	93,00	II
2	III	7	239,72	2,00	57,00	III
3	IV	32	233,15	1,25	11,00	IV
4	I	27	167,51	1,37	10,00	I
5	V	16	233,42	9,22	13,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 45 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(m), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	I	27	187,31	6,71	16,00	I
2	II	33	239,79	1,19	72,00	II
3	III	8	232,48	3,16	25,00	III
4	IV	31	232,80	1,21	17,00	IV
5	V	17	243,80	8,54	41,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

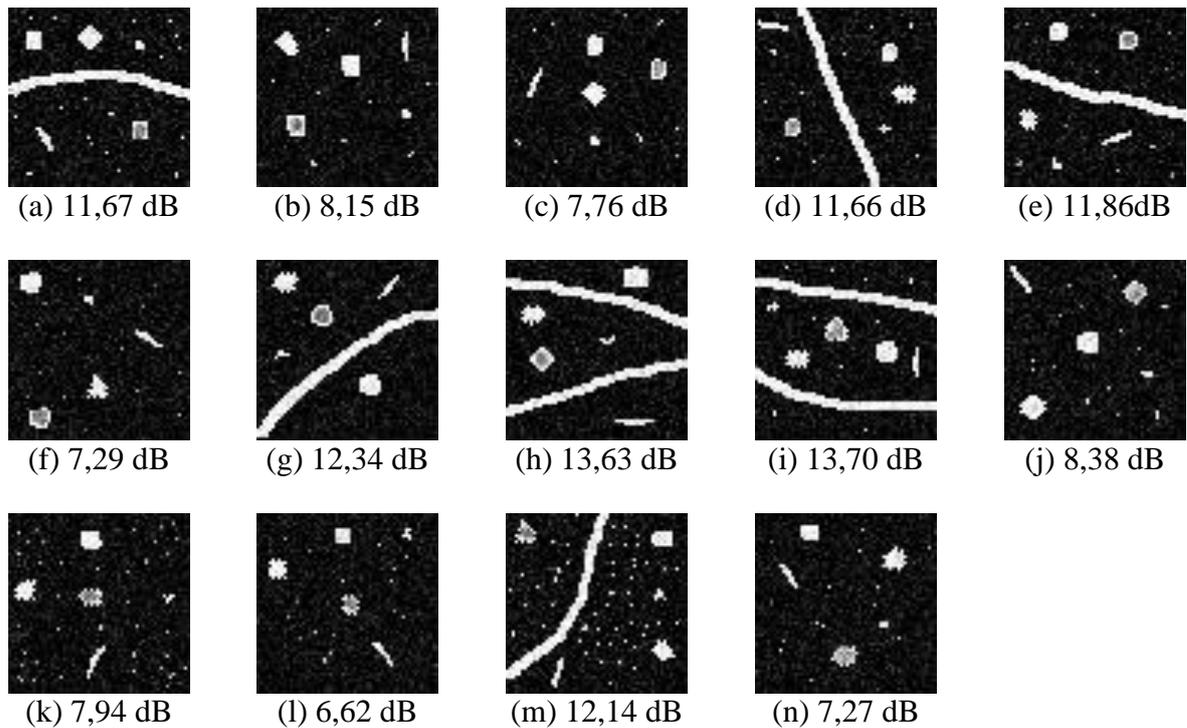
Tabela 46 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 42(n), utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	29	238,63	1,13	88,00	II
2	IV	39	235,30	1,35	38,00	IV
3	V	16	243,54	8,60	40,00	V
4	III	6	234,96	1,58	100,00	III
5	I	38	156,42	1,37	33,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 43 são apresentadas as imagens resultantes da adição de ruído gaussiano às imagens da Figura 39, utilizando o argumento 0,02 para a variância. Abaixo de cada imagem encontra-se o valor da taxa de sinal-ruído em relação à imagem original.

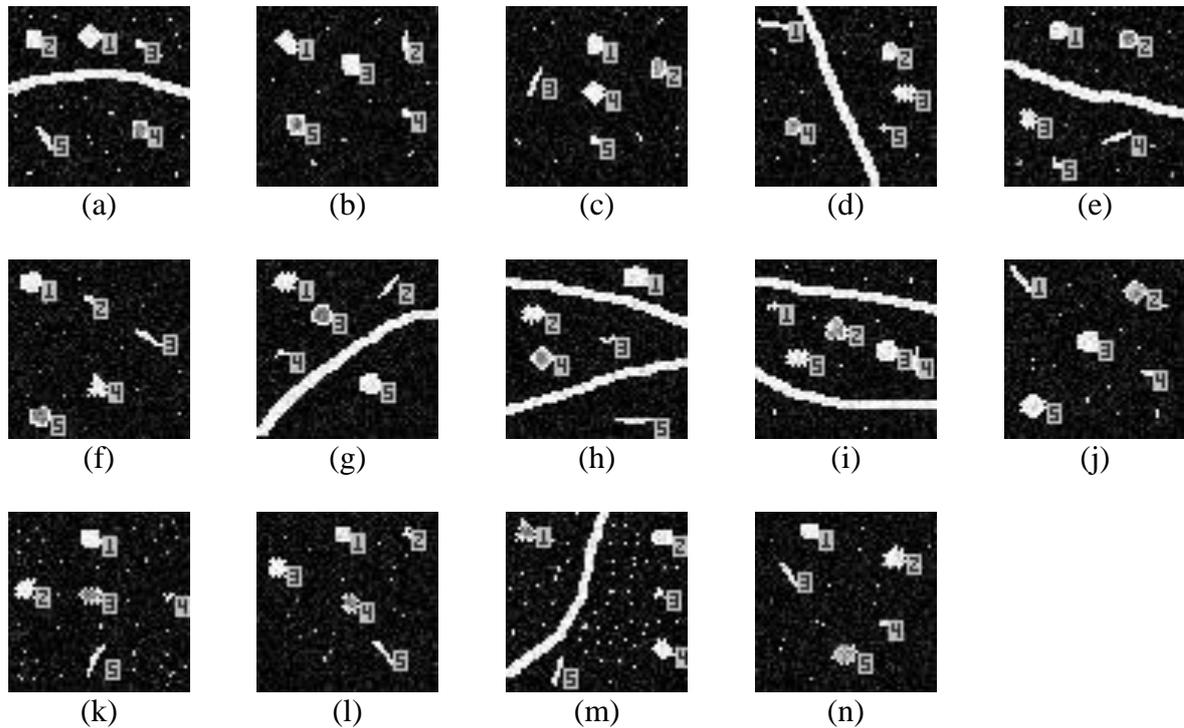
Figura 43 – Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,02 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

As imagens contendo as microcalcificações detectadas e numeradas em cada uma das imagens da Figura 43 são apresentadas na Figura 44, e o resultado da extração de características e classificação dessas imagens pode ser visto da Tabela 47 até a Tabela 60.

Figura 44 – Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,02 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 47 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(a), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	40	221,48	1,01	0,00	IV
2	II	30	229,93	1,13	100,00	II
3	III	8	228,55	2,00	57,00	III
4	I	28	149,04	2,26	66,00	I
5	V	19	212,27	6,08	37,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 48 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(b), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	38	227,92	2,69	5,00	IV
2	V	15	223,13	7,07	86,00	V
3	II	40	233,46	1,38	85,00	II
4	III	8	224,20	2,00	57,00	III
5	I	32	197,44	2,76	72,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 49 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(c), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	31	225,45	1,13	70,00	II
2	I	28	173,59	1,13	40,00	I
3	V	18	223,15	9,85	55,00	V
4	IV	37	234,97	1,01	0,00	IV
5	III	8	239,68	2,00	57,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 50 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(d), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	19	231,23	9,49	68,00	V
2	II	27	217,71	1,33	60,00	II
3	IV	33	224,67	1,46	5,00	IV
4	I	24	162,97	1,33	63,00	I
5	III	6	224,20	3,00	40,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 51 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(e), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	33	221,67	1,51	64,00	II
2	I	26	188,65	4,53	46,00	I
3	IV	28	223,84	1,37	12,00	IV
4	V	18	229,42	9,85	52,00	V
5	III	8	225,11	2,55	100,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 52 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(f), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	41	228,83	1,27	70,00	II
2	III	7	230,46	2,00	85,00	III
3	V	17	232,98	9,43	12,00	V
4	IV	32	222,74	1,58	15,00	IV
5	I	34	158,76	2,55	48,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 53 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(g), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	39	226,55	2,06	30,00	IV
2	V	15	221,50	9,22	14,00	V
3	I	29	185,54	2,37	34,00	I
4	III	7	237,46	4,12	28,00	III
5	II	42	226,58	1,27	100,00	V*

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 54 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(h), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	II	49	224,29	2,03	70,00	I*
2	IV	34	229,83	2,43	0,00	IV
3	III	8	217,53	4,12	25,00	.*
4	I	30	194,44	3,54	0,00	I
5	V	20	223,96	12,00	85,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 55 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(i), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	III	7	232,13	1,58	16,00	III
2	I	36	189,54	1,80	7,00	I
3	II	43	224,96	1,27	90,00	V*
4	V	15	223,38	7,07	86,00	V
5	IV	35	222,84	1,08	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 56 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(j), utilizando-se 0,02 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	V	21	218,28	10,00	33,00	V
2	I	36	159,52	1,77	20,00	I
3	II	45	222,24	1,10	95,00	I*
4	III	7	224,89	3,16	71,00	III
5	IV	48	223,96	1,51	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 57 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(k), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	37	231,37	1,27	68,00	II
2	IV	34	232,22	1,38	15,00	IV
3	I	30	155,72	2,43	14,00	I
4	III	5	233,28	2,83	0,00	III
5	V	20	220,68	11,18	21,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 58 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(l), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	25	211,29	1,00	93,00	II
2	III	7	232,70	2,00	57,00	III
3	IV	32	233,51	1,25	11,00	IV
4	I	25	165,82	1,37	14,00	I
5	V	16	223,85	9,22	13,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 59 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(m), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	I	25	189,76	4,74	13,00	I
2	II	33	226,51	1,19	72,00	II
3	III	8	222,53	3,16	25,00	III
4	IV	31	226,72	1,21	17,00	IV
5	V	17	225,29	8,54	41,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

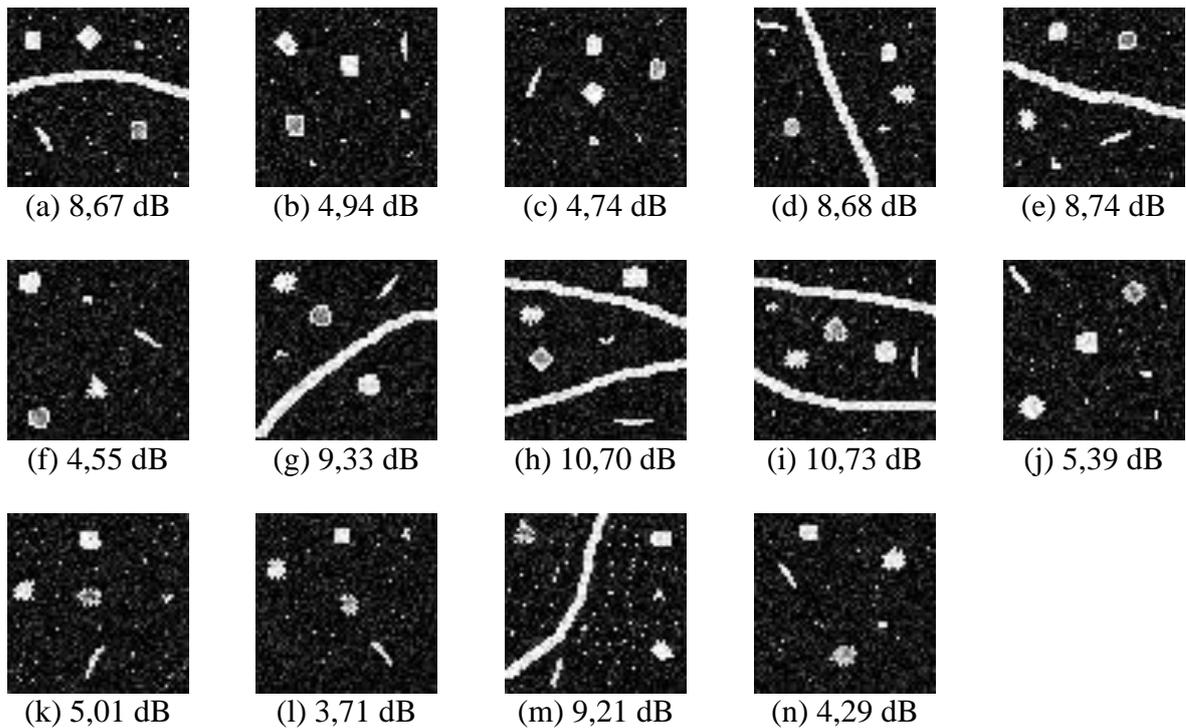
Tabela 60 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 44(n), utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	29	228,90	1,13	88,00	II
2	IV	39	223,32	1,35	38,00	IV
3	V	16	220,37	8,60	40,00	V
4	III	6	212,05	1,58	100,00	III
5	I	37	154,30	4,12	31,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 45 são apresentadas as imagens resultantes da adição de ruído gaussiano às imagens da Figura 39, utilizando o argumento 0,04 para a variância. Abaixo de cada imagem encontra-se o valor da taxa de sinal-ruído em relação à imagem original.

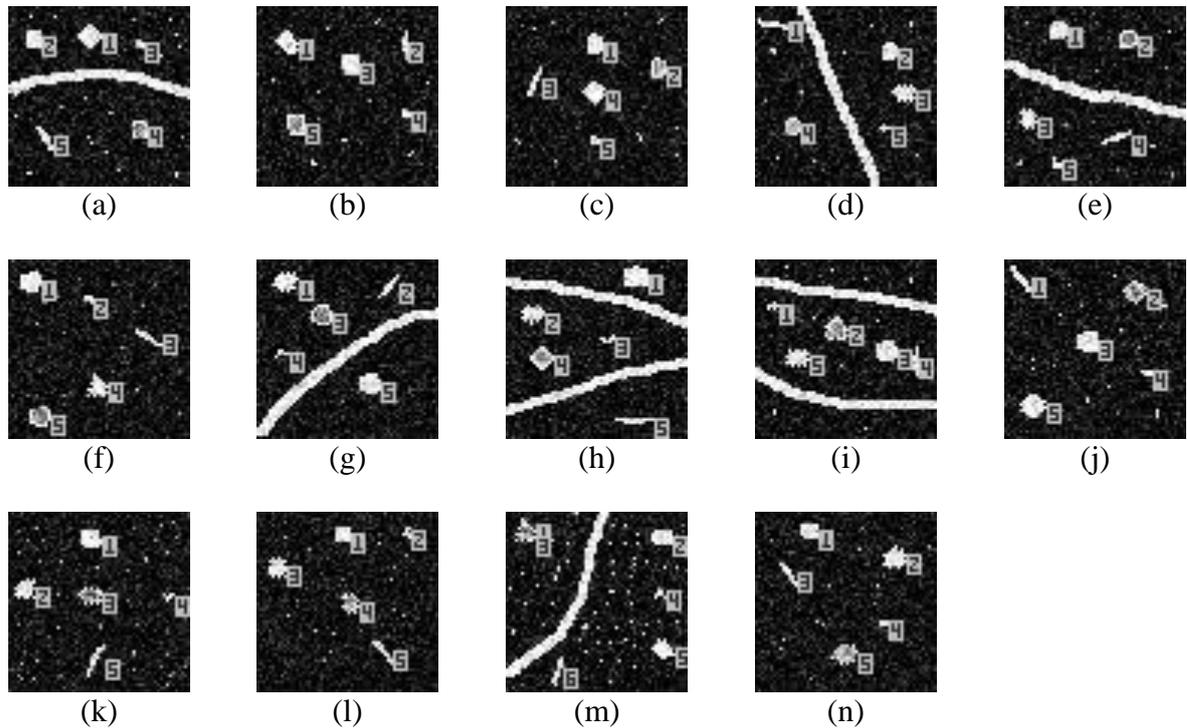
Figura 45 – Imagens de testes utilizadas adicionando-se ruído gaussiano com 0,04 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

As imagens contendo as microcalcificações detectadas e numeradas em cada uma das imagens da Figura 45 são apresentadas na Figura 46, e o resultado da extração de características e classificação dessas imagens pode ser visto da Tabela 61 até a Tabela 74.

Figura 46 – Resultados obtidos no processamento das imagens com ruídos gaussianos adicionados utilizando-se 0,04 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 61 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(a), utilizando-se 0,04 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	40	216,31	1,01	0,00	IV
2	II	30	218,75	1,13	100,00	II
3	III	8	196,11	2,00	57,00	III
4	I	25	166,82	2,26	42,00	I
5	V	19	213,18	6,08	37,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 62 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(b), utilizando-se 0,04 de variância.

Número	Tipo	Área	Tonalidade	Proporção	Rugosidade	Tipo Detectado
1	IV	37	226,89	2,69	4,00	IV
2	V	15	200,03	7,07	86,00	V
3	II	40	215,85	1,38	85,00	I*
4	III	8	214,90	2,00	57,00	III
5	I	32	186,75	1,38	48,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 63 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(c), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	31	220,57	1,13	70,00	II
2	I	28	176,38	2,26	39,00	I
3	V	18	215,86	9,85	55,00	V
4	IV	37	218,67	1,01	0,00	IV
5	III	8	217,42	2,00	57,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 64 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(d), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	19	219,48	9,49	68,00	V
2	II	27	214,66	1,33	60,00	II
3	IV	33	215,24	1,46	5,00	IV
4	I	25	169,32	1,18	33,00	I
5	III	6	205,15	3,00	40,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 65 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(e), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	33	205,81	1,51	64,00	I*
2	I	23	195,42	1,51	52,00	.*
3	IV	28	218,34	1,37	12,00	IV
4	V	18	217,23	9,85	52,00	V
5	III	8	240,60	2,55	100,00	III

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 66 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(f), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	41	224,04	1,27	70,00	II
2	III	7	223,24	2,00	85,00	III
3	V	17	212,49	9,43	12,00	V
4	IV	32	215,24	1,58	15,00	IV
5	I	29	174,80	5,10	38,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 67 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(g), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	IV	39	220,20	2,06	30,00	.*
2	V	15	228,56	9,22	14,00	V
3	I	29	179,57	2,37	41,00	I
4	III	7	203,57	4,12	28,00	V*
5	II	42	211,26	1,27	100,00	I*

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 68 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(h), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	48	225,98	1,22	58,00	IV*
2	IV	33	212,23	2,43	0,00	.*
3	III	8	225,29	4,12	25,00	III
4	I	32	187,22	3,54	22,00	I
5	V	20	216,35	12,00	85,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 69 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(i), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	III	7	229,06	1,58	16,00	III
2	I	36	180,69	1,80	15,00	I
3	II	43	208,42	1,27	90,00	I*
4	V	15	213,59	7,07	86,00	V
5	IV	35	209,83	1,08	15,00	IV

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 70 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(j), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	V	21	224,44	10,00	33,00	V
2	I	31	169,29	2,36	22,00	I
3	II	45	216,51	1,10	95,00	I*
4	III	7	230,44	3,16	71,00	III
5	IV	48	213,88	1,51	15,00	I*

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 71 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(k), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	36	226,20	1,27	56,00	II
2	IV	34	213,37	1,38	15,00	IV
3	I	27	168,99	3,64	25,00	I
4	III	5	228,37	2,83	0,00	III
5	V	20	202,75	11,18	21,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 72 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(l), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	25	216,65	1,00	93,00	II
2	III	7	217,71	2,00	57,00	III
3	IV	32	212,96	1,25	11,00	IV
4	I	25	175,07	1,37	20,00	I
5	V	16	202,74	9,22	13,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 73 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(m), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	-	11	189,49	5,10	20,00	V*
2	II	33	216,99	1,19	72,00	II
3	I	15	177,98	6,08	30,00	V*
4	III	8	206,70	3,16	25,00	III
5	IV	31	227,02	1,21	17,00	IV
6	V	17	206,81	8,54	41,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 74 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 46(n), utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
1	II	29	212,30	1,13	88,00	II
2	IV	39	220,07	1,35	38,00	IV
3	V	16	214,31	8,60	40,00	V
4	III	6	212,31	1,58	100,00	III
5	I	34	161,66	1,37	15,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

O tempo de processamento de cada uma das imagens, tanto para as imagens originais quanto para as imagens com ruído, foi de aproximadamente três segundos, desde a escolha da imagem por parte do usuário até a gravação dos resultados no cartão SD e exibição da mensagem de sucesso no LCD para o usuário, que é um valor aceitável para um equipamento de baixo custo.

Na seção a seguir discutem-se os resultados obtidos.

### 3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS SIMULADAS

Analisando inicialmente os resultados do processamento das imagens presentes na Figura 39, é possível verificar que a maior parte das microcalcificações foi classificada com sucesso. O único erro apresentado na classificação foi no processamento da Figura 39(m), onde uma microcalcificação do tipo I foi incorretamente dividida em duas pelo algoritmo de crescimento de região, e então cada parte da microcalcificação foi detectada separadamente.

Esse fenômeno, que pode ser visto na Figura 40(m), onde aparece marcada como as microcalcificações de números 1 e 2, e foram classificadas respectivamente como dos tipos III (incorreto) e I (correto).

Considerando apenas as imagens da Figura 39, os resultados da classificação para cada tipo podem ser vistos na Tabela 75. Nessa tabela, as linhas possuem os seguintes significados:

- a) total: representa a quantidade de microcalcificações de um tipo presente na imagem;
- b) detecção correta: indica a quantidade de microcalcificações desse tipo detectadas corretamente;

- c) detecção incorreta: indica a quantidade de microcalcificações desse tipo detectadas incorretamente como de outro tipo;
- d) detecção incorreta II: indica a quantidade de microcalcificações de outros tipos detectadas incorretamente como desse tipo.

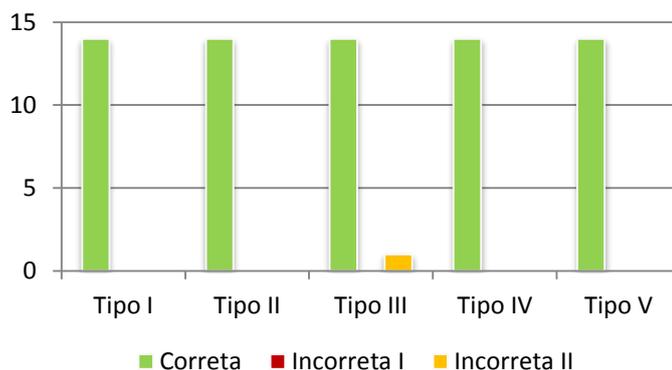
É importante observar que, nessas imagens, nenhum falso-positivo ou outro elemento da imagem que não seja uma microcalcificação foi detectado. Esses dados podem ser visualizados na forma de gráfico na Figura 47, onde é possível perceber que, nesse caso, o sistema atingiu grandes taxas de acerto para todos os tipos de microcalcificação.

Tabela 75 – Dados do processamento das imagens da Figura 39, sem ruído.

<b>Tipo I</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo II</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo III</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	1
<b>Tipo IV</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo V</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 47 – Resultados do processamento das imagens da Figura 39, sem ruído.



Fonte: Elaboração do autor.

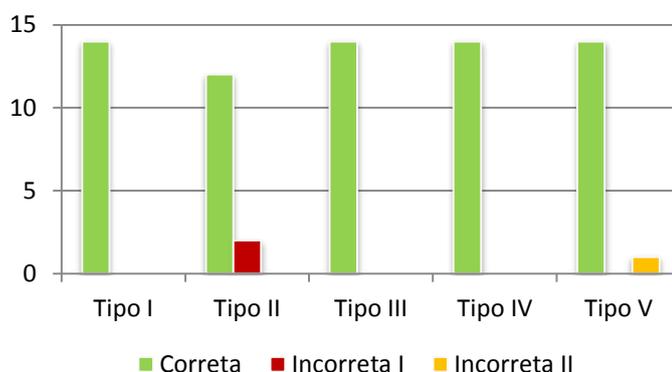
A adição de ruídos nas imagens de teste foi feita para avaliar a eficácia do sistema, revelar situações com possibilidade de falha e, também, verificar a eficácia das características extraídas das microcalcificações como entrada da rede neural. Na Tabela 76 e na Figura 48 são apresentados os resultados da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 41, onde o sistema classificou corretamente 98,57% das microcalcificações detectadas.

Tabela 76 – Dados do processamento das imagens da Figura 41, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,01 de variância.

<b>Tipo I</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo II</b>	Total	14
	Detecção correta	12
	Detecção incorreta	2
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo III</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo IV</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo V</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	1

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 48 – Resultados do processamento das imagens da Figura 41, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,01 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Os erros de classificação ocorridos no processamento das imagens da Figura 41 foram os seguintes:

- a) na Figura 42(h), a microcalcificação 1, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo V, o que não deveria ocorrer, pois a proporção entre a altura e a largura dessa microcalcificação, que é a principal característica das microcalcificações do tipo V, é de apenas 1,22;
- b) na Figura 42(i), a microcalcificação 3, que é do tipo II, foi detectada como uma microcalcificação indefinida. Analisando o valor de saída dos neurônios da camada de saída da rede neural, foi possível perceber que a microcalcificação foi detectada como indefinida pois a saída do neurônio referente ao tipo II foi de 0,68, enquanto o limiar utilizado foi 0,70. Assim, uma pequena diminuição no valor do limiar, para esse caso, poderia fazer com que essa microcalcificação fosse classificada corretamente, porém, esse ajuste poderia implicar na alteração da classificação de outras microcalcificações.

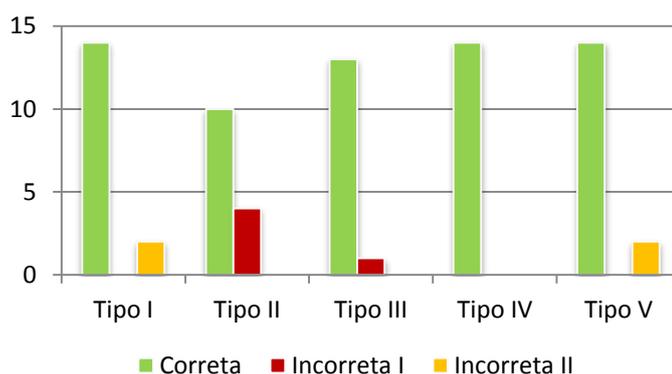
O resultado do processamento das imagens presentes na Figura 43 é resumido nos dados da Tabela 77, e podem ser visualizados no gráfico da Figura 49, onde é possível perceber que, com o aumento do ruído, a classificação correta das microcalcificações do tipo II diminuiu, enquanto algumas microcalcificações foram classificadas de forma errada como do tipo I ou do tipo V.

Tabela 77 – Dados do processamento das imagens da Figura 43, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,02 de variância.

<b>Tipo I</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	2
<b>Tipo II</b>	Total	14
	Detecção correta	10
	Detecção incorreta	4
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo III</b>	Total	14
	Detecção correta	13
	Detecção incorreta	1
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo IV</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo V</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	2

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 49 – Resultados do processamento das imagens da Figura 43, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,02 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Os erros de classificação ocorridos no processamento das imagens da Figura 43 foram os seguintes:

- a) na Figura 44(g), a microcalcificação 5, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo V, o que não deveria ocorrer devido ao valor da proporção entre sua altura e sua largura (1,27);
- b) na Figura 44(h), a microcalcificação 1, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,41 para 224,29;
- c) na Figura 44(h), a microcalcificação 3, que é do tipo III, foi classificada como uma microcalcificação indefinida. Analisando os resultados da saída dos neurônios da camada de saída da rede neural, a saída do neurônio referente ao tipo III foi abaixo do limiar, com o valor 0,52, e por isso a microcalcificação foi classificada como indefinida. Dessa forma, a diminuição do valor do limiar utilizado (0,7) classificaria essa microcalcificação corretamente, no entanto, essa alteração afetaria também a classificação de outras microcalcificações;
- d) na Figura 44(i), a microcalcificação 3, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo V, o que não deveria ocorrer devido ao valor da proporção entre sua altura e sua largura (1,27);
- e) na Figura 44(j), a microcalcificação 1, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,06 para 222,24.

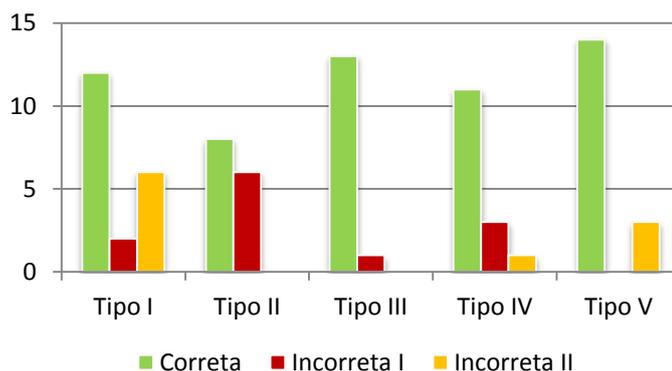
O resultado do processamento das imagens da Figura 45 pode ser visto na Tabela 78 e na Figura 50, onde é possível perceber que quase metade das microcalcificações do tipo II foi classificada incorretamente, e há uma maior quantidade de classificação errada de microcalcificações como dos tipos I e V em relação aos casos anteriores.

Tabela 78 – Dados do processamento das imagens da Figura 45, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,04 de variância.

<b>Tipo I</b>	Total	14
	Detecção correta	12
	Detecção incorreta	2
	Detecção incorreta II	6
<b>Tipo II</b>	Total	14
	Detecção correta	8
	Detecção incorreta	6
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo III</b>	Total	14
	Detecção correta	13
	Detecção incorreta	1
	Detecção incorreta II	0
<b>Tipo IV</b>	Total	14
	Detecção correta	11
	Detecção incorreta	3
	Detecção incorreta II	1
<b>Tipo V</b>	Total	14
	Detecção correta	14
	Detecção incorreta	0
	Detecção incorreta II	3

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 50 – Resultados do processamento das imagens da Figura 45, obtidas a partir da adição de ruídos gaussianos utilizando-se 0,04 de variância.



Fonte: Elaboração do autor.

Os erros de classificação das microcalcificações presentes nas imagens da Figura 45 foram os seguintes:

- a) na Figura 46(b), a microcalcificação 3, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,21 para 215,85;
- b) na Figura 46(e), a microcalcificação 1, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 254,04 para 205,81;
- c) na Figura 46(e), a microcalcificação 2, que é do tipo I, foi classificada como uma microcalcificação indefinida. Analisando os resultados da saída dos neurônios da camada de saída da rede neural, a saída do neurônio referente ao tipo I foi de apenas - 0,39, o que indica que as características extraídas da microcalcificação não foram suficientes para classificá-la corretamente;
- d) na Figura 46(g), a microcalcificação 1, que é do tipo IV, foi classificada como uma microcalcificação indefinida. Analisando os resultados da saída dos neurônios da camada de saída da rede neural, a saída do neurônio referente ao tipo IV foi de 0,79, no entanto, a saída referente ao tipo I foi de 0,87, o que fez com que o sistema classificasse essa microcalcificação como indefinida;
- e) na Figura 46(g), a microcalcificação 4, que é do tipo III, foi classificada como uma microcalcificação do tipo V, o que não deveria ocorrer devido ao valor da sua área (7 *pixels*);
- f) na Figura 46(g), a microcalcificação 5, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,49 para 211,26;
- g) na Figura 46(h), a microcalcificação 1, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo IV, o que não deveria ocorrer devido ao valor do seu coeficiente de rugosidade ser superior a 50,00 (58,00);
- h) na Figura 46(h), a microcalcificação 2, que é do tipo IV, foi classificada como uma microcalcificação indefinida. Analisando os resultados da saída dos neurônios da camada de saída da rede neural, a saída do neurônio referente ao tipo IV foi de 0,87, no entanto, a saída referente ao tipo I foi de 0,84, o que fez com que o sistema classificasse essa microcalcificação como indefinida;
- i) na Figura 46(i), a microcalcificação 3, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,15 para 208,42;

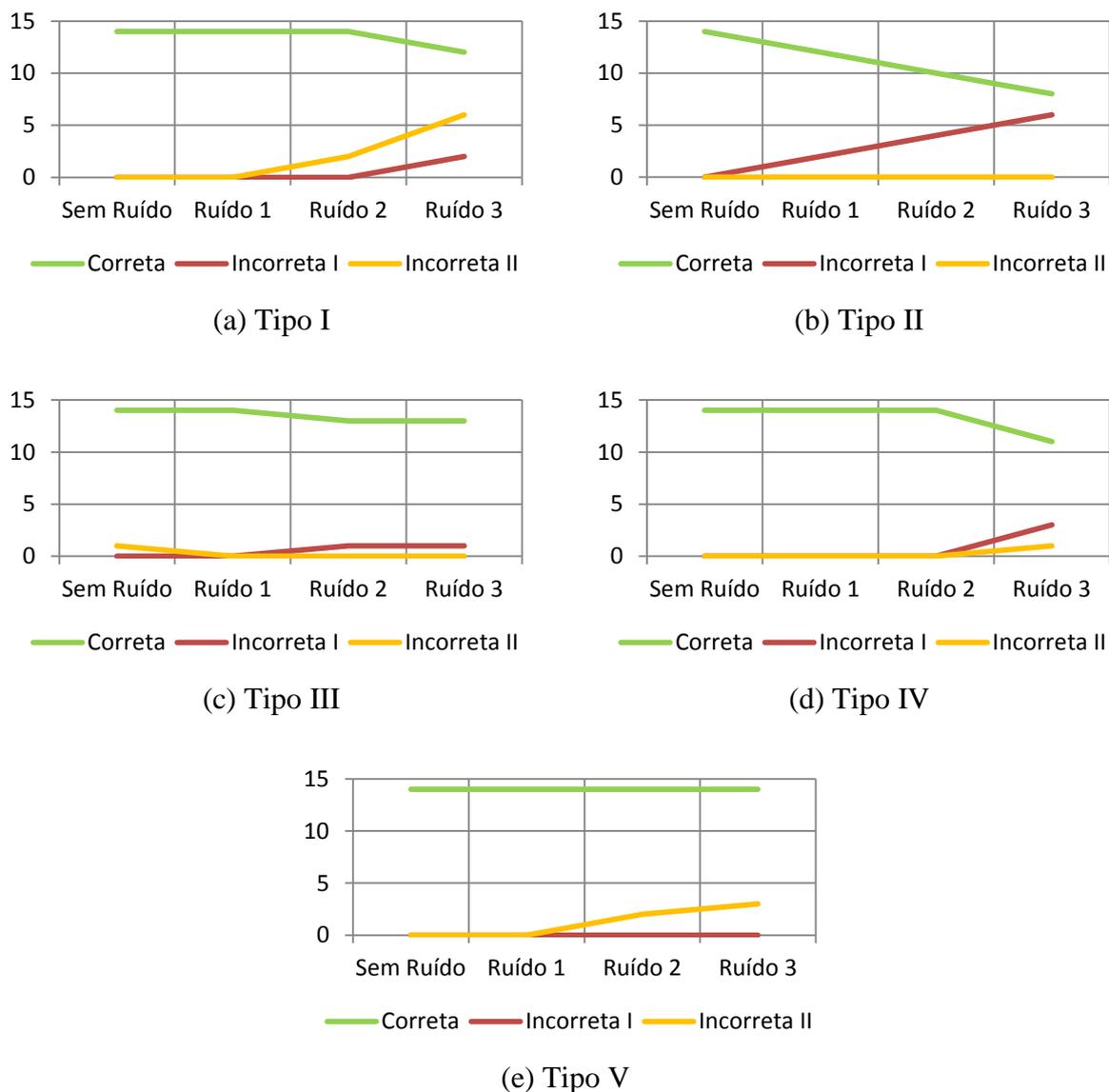
- j) na Figura 46(j), a microcalcificação 3, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,06 para 216,51;
- k) na Figura 46(j), a microcalcificação 5, que é do tipo II, foi classificada como uma microcalcificação do tipo I, devido à alteração do valor de sua tonalidade média, que foi reduzido de 253,51 para 213,88;
- l) na Figura 46(m), novamente a microcalcificação 1 foi separada em duas pelo algoritmo de crescimento de região (microcalcificações 1 e 3). No entanto, a classificação de ambas as partes foi feita de forma errada, sendo ambas classificadas como do tipo V, ao invés de serem classificadas como do tipo I, o que deve ter ocorrido devido ao fato de elas terem ficado com quase a metade do tamanho da microcalcificação original, interferindo nos valores de altura e largura.

Uma característica interessante do processamento realizado é que, em todos os testes, nenhuma microcalcificação deixou de ser detectada, tornando o número de verdadeiros negativos zero, e nenhum elemento que não é uma microcalcificação foi detectado como o sendo, tornando o número de falsos positivos também zero. Em relação aos erros encontrados, principalmente devido à adição de ruídos nas imagens de testes, os gráficos da Figura 51 mostram a variação dos valores de classificação correta e dos erros encontrados, sendo que a quantidade de ruídos é expressa como:

- a) sem ruído: refere-se às imagens da Figura 39;
- b) ruído 1: refere-se às imagens da Figura 41 (que foram geradas utilizando-se variância de 0,01);
- c) ruído 2: refere-se às imagens da Figura 43 (que foram geradas utilizando-se variância de 0,02);
- d) ruído 3: refere-se às imagens da Figura 45 (que foram geradas utilizando-se variância de 0,04);

Através Figura 51 é possível perceber que, conforme adiciona-se ruído às imagens de teste, mais microcalcificações do tipo II foram classificadas incorretamente, e que as microcalcificações classificadas incorretamente como de outro tipo foram normalmente classificadas como microcalcificações do tipo I ou do tipo V.

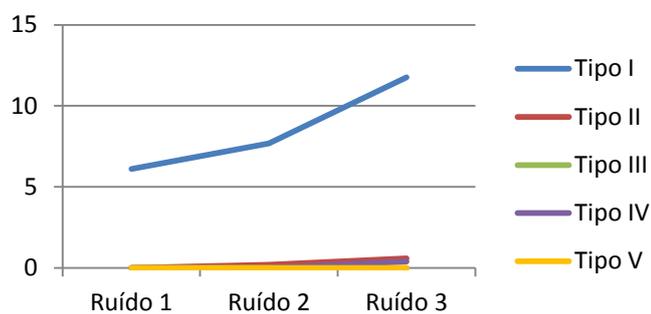
Figura 51 – Variação do erro na classificação por tipo de microcalcificação.



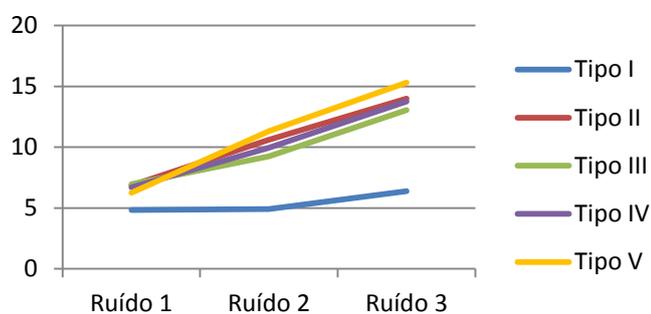
Fonte: Elaboração do autor.

Como a classificação das microcalcificações é feita baseada nas características extraídas de cada uma, a adição de ruídos deve alterar esses valores nas imagens de teste. A fim de avaliar essa alteração, foi calculada a porcentagem média de alteração por tipo de microcalcificação, e o resultado pode ser visualizado nos gráficos da Figura 52.

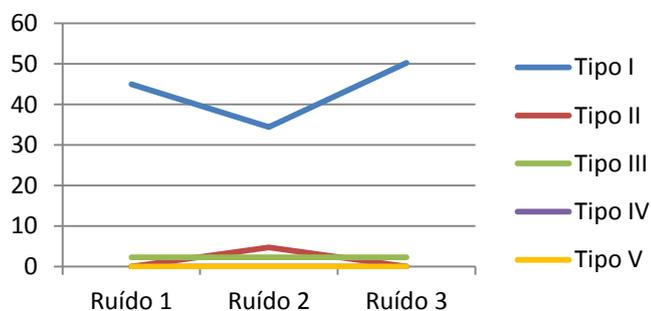
Figura 52 – Alteração média nas características extraídas das microcalcificações devido à adição de ruídos.



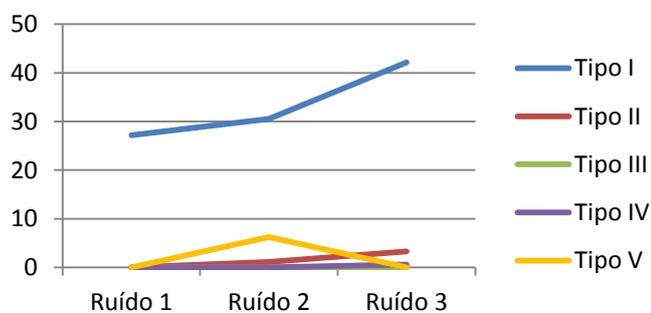
(a) Área



(b) Tonalidade média



(c) Proporção entre altura e largura



(d) Coeficiente de rugosidade

Fonte: Elaboração do autor.

Através da análise da Figura 52 é possível perceber que as microcalcificações do tipo I foram as mais afetadas pela adição do ruído, principalmente devido à alteração da área das microcalcificações. Devido ao fato da tonalidade das microcalcificações ser alterada de acordo com a adição de ruídos, alguns *pixels* das microcalcificações podem não ser detectados como integrantes delas, o que faz o valor das demais características ser alterado à medida que se adiciona ruído. Assim, microcalcificações que tenham *pixels* de sua borda não detectados podem ser detectadas como do tipo V. Em relação às microcalcificações detectadas incorretamente como do tipo I, a diminuição do valor da tonalidade média parece ser o motivo de tal fato.

Não foram encontradas evidências para que a maior parte das microcalcificações classificadas incorretamente sejam as do tipo II.

Para definir a taxa de acerto  $S$  do sistema, o total de microcalcificações classificadas corretamente (excluindo os erros) é dividido pelo total de microcalcificações da imagem, de acordo com a equação (12), sendo  $T$  o total de microcalcificações presentes nas imagens,  $E_1$  o total de microcalcificações detectadas incorretamente e  $E_2$  o total de microcalcificações que não fazem parte da imagem original (utilizado para considerar o caso das microcalcificações que foram separadas em mais de uma pelo algoritmo de crescimento de região).

$$S = \frac{T - (E_1 + E_2)}{T} \quad (12)$$

Na Tabela 79 são apresentadas as porcentagens de acerto para o processamento das imagens, tanto das originais como das com ruído, sendo que:

- a) ruído 1: refere-se às imagens da Figura 41;
- b) ruído 2: refere-se às imagens da Figura 43;
- c) ruído 3: refere-se às imagens da Figura 45.

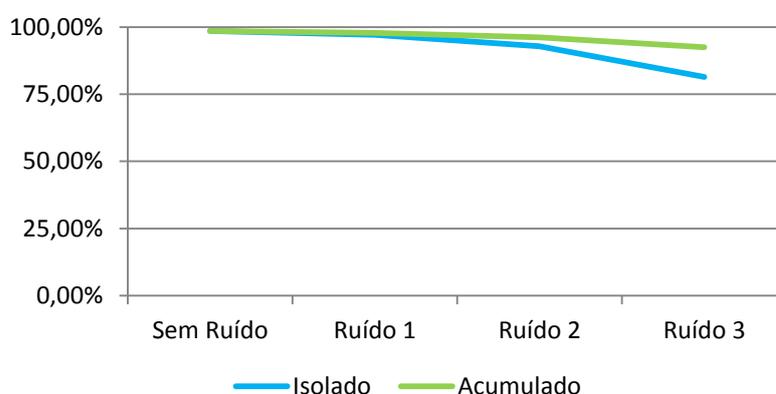
A coluna denominada “Isolado” considera apenas os resultados do processamento das imagens da linha correspondente, enquanto a coluna “Acumulado” considera o resultado combinado da linha correspondente com as linhas anteriores. Na Figura 53 esses dados são apresentados em um gráfico.

Tabela 79 – Porcentagem de acerto obtida pelo sistema.

	<b>Isolado</b>	<b>Acumulado</b>
<b>Sem ruído</b>	98,57%	98,57%
<b>Ruído 1</b>	97,14%	97,86%
<b>Ruído 2</b>	92,86%	96,19%
<b>Ruído 3</b>	81,43%	92,50%

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 53 – Porcentagem de acerto do sistema.



Fonte: Elaboração do autor.

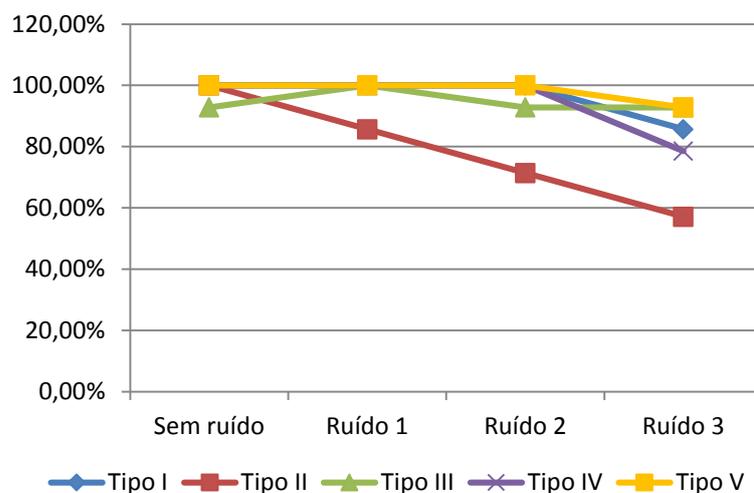
Na Tabela 80 apresentam-se as porcentagens de acerto por tipo de microcalcificação, sendo que o erro de uma microcalcificação separada em duas pelo algoritmo de crescimento de região foi atribuído ao tipo em que a microcalcificação excedente foi classificada. Na Figura 54 é possível visualizar um gráfico contendo as informações das taxas de acerto obtidas de forma isolada, de acordo com a quantidade de ruído adicionado nas imagens, e na Figura 55 é possível ver o mesmo gráfico, agora considerando os dados acumulados das linhas anteriores da Tabela 80.

Tabela 80 – Porcentagem de acerto obtida pelo sistema, por tipo de microcalcificação.

	<b>Isolado</b>					<b>Acumulado</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>Sem ruído</b>	100,0	100,0	92,86	100,0	100,0	100,0	100,0	92,86	100,00	100,00
<b>Ruído 1</b>	100,0	85,71	100,0	100,0	100,0	100,0	92,86	96,43	100,00	100,00
<b>Ruído 2</b>	100,0	71,43	92,86	100,0	100,0	100,0	85,71	95,24	100,00	100,00
<b>Ruído 3</b>	85,71	57,14	92,86	78,57	92,86	96,43	78,57	94,64	94,64	98,21

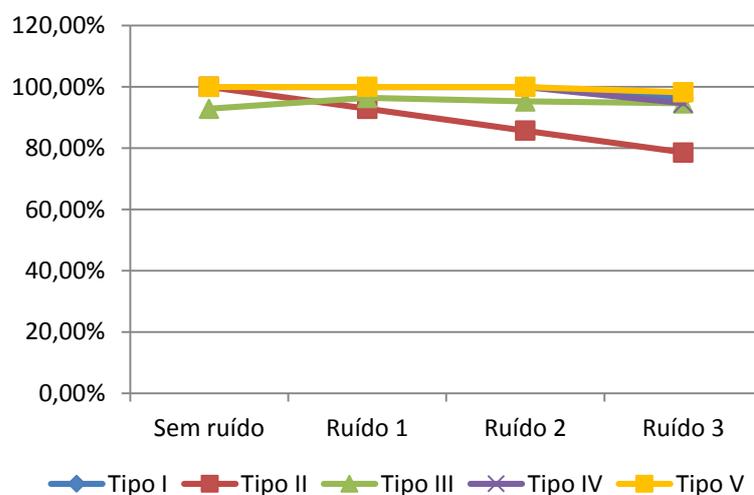
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 54 – Porcentagem de acerto calculada de forma isolada, por tipo de microcalcificação.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 55 – Porcentagem de acerto calculada de forma acumulada, por tipo de microcalcificação.



Fonte: Elaboração do autor.

É possível visualizar pelos gráficos da Figura 54 e da Figura 55 que, com exceção das microcalcificações do tipo II, o sistema apresentou classificação próxima aos 80% para os demais tipos de microcalcificações, mesmo com a adição de ruídos. O tipo de microcalcificação em que a classificação ficou mais comprometida com a adição de ruídos nas imagens de teste foi justamente o tipo II.

### 3.3 PROCESSAMENTO DE IMAGENS REAIS

As imagens reais utilizadas para verificar o funcionamento do sistema foram obtidas em Pereira (1995). Elas possuem baixa qualidade e são recortes de mamografias (PEREIRA, 1995).

As imagens estão no formato PCX e foram capturadas de casos confirmados patologicamente como malignos ou benignos. Como não há laudo médico para cada microcalcificação dessa imagem, utilizou-se a mesma regra utilizada em Pereira (1995): microcalcificações do tipo I devem ser encontradas principalmente em imagens de lesões benignas, enquanto microcalcificações do tipo V devem ser encontradas principalmente em imagens de lesões malignas. Apesar de não ser a melhor forma de avaliar a classificação para cada tipo de microcalcificação, a utilização dessas imagens indica o funcionamento correto do sistema e sua capacidade de classificar microcalcificações em mamografias digitais.

Na Figura 56 são apresentadas imagens de lesões benignas, e as microcalcificações detectadas e numeradas são exibidas na Figura 57.

Figura 56 – Imagens reais de lesões benignas.

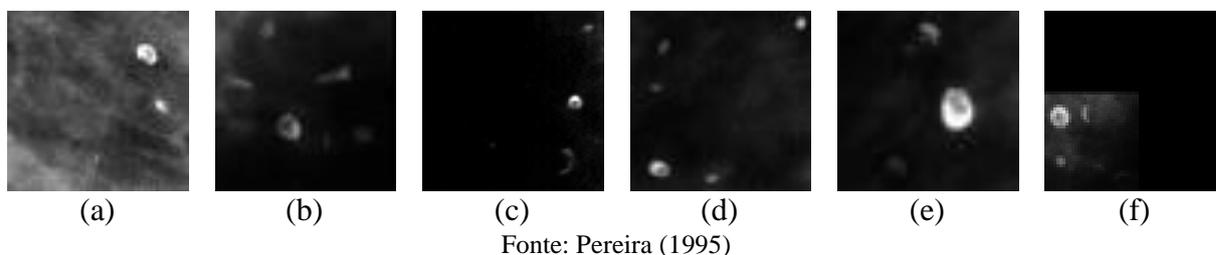
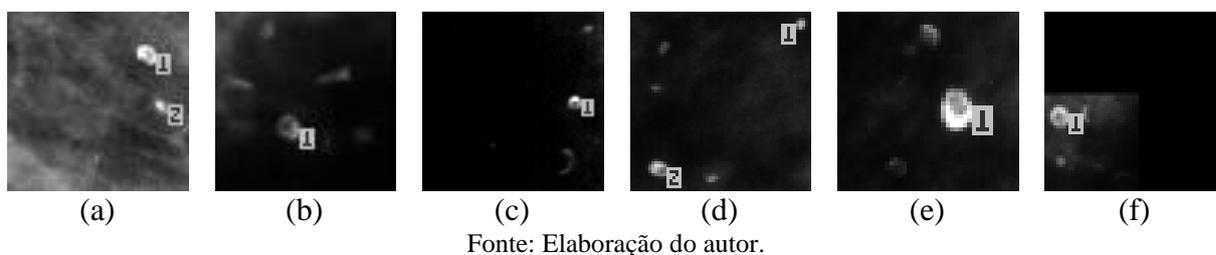


Figura 57 – Resultado do processamento das imagens presentes na Figura 56.



Na Tabela 81 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(a). Na Tabela 82 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(b).

Na Tabela 83 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(c). Na Tabela 84 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(d). Na Tabela 85 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(e), e na Tabela 86 são apresentados os resultados obtidos no processamento da Figura 56(f).

Tabela 81 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(a).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	30	181,72	2,26	43,00	I
<b>2</b>	11	144,60	4,24	66,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 82 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(b).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	12	105,35	2,55	70,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 83 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(c).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	14	141,36	1,58	66,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 84 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(d).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	6	118,35	2,24	40,00	I
<b>2</b>	16	118,14	1,77	25	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 85 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(e).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	41	178,67	2,37	46,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

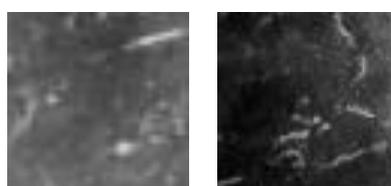
Tabela 86 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 57(f).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	29	131,03	1,03	72,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

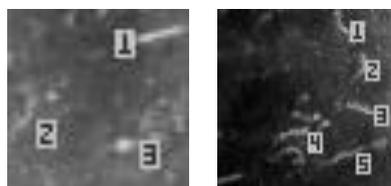
Na Figura 58 são apresentadas imagens de lesões malignas, e as microcalcificações detectadas são apresentadas na Figura 59.

Figura 58 – Imagens reais de lesões malignas.



(a) (b)  
Fonte: Pereira (1995)

Figura 59 – Resultado do processamento das imagens presentes na Figura 58.



(a) (b)  
Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 87 são apresentados os resultados da classificação do processamento da Figura 58(a), e na Tabela 88 são apresentados os resultados da classificação da Figura 58(b).

Tabela 87 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 59(a).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	22	143,12	11,40	81,00	V
<b>2</b>	20	94,84	10,82	57,00	V
<b>3</b>	15	135,27	2,55	36,00	I

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 88 – Resultado da classificação das microcalcificações detectadas na Figura 59(b).

<b>Número</b>	<b>Área</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Proporção</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo Detectado</b>
<b>1</b>	12	120,34	7,21	41,00	V
<b>2</b>	7	120,34	7,21	41,00	V
<b>3</b>	15	124,53	8,54	20,00	V
<b>4</b>	13	108,30	8,25	23,00	V
<b>5</b>	10	84,65	7,62	30,00	V

Fonte: Elaboração do autor.

O processamento das imagens reais indica que em imagens de lesões benignas, a maior parte das microcalcificações detectadas são do tipo I, enquanto em imagens de lesões malignas, a maior quantidade de microcalcificações detectadas são do tipo II, o que era esperado. Não há dados suficientes para afirmar que a classificação das microcalcificações foi feita corretamente, no entanto, a classificação de microcalcificações do tipo V nas imagens de lesões malignas e do tipo I nas imagens de lesões benignas indicam uma provável classificação correta do sistema, para esses tipos de microcalcificações.

No entanto, imagens de mamografias com o laudo médico sobre o tipo de cada microcalcificação são necessárias para poder-se avaliar o sistema efetivamente.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram levantadas informações referentes à análise do sistema desenvolvido, e os resultados obtidos pelo sistema foram discutidos.

No próximo capítulo é feita a conclusão do trabalho e são indicados os futuros trabalhos a serem desenvolvidos.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um sistema para a classificação de microcalcificações em mamografias digitais em um dos cinco tipos propostos por Michèle Le Gal, desenvolvido de forma a ser executado em uma FPGA. Foi utilizada uma placa de desenvolvimento da Altera, a DE2-115, que contém o dispositivo onde foi configurado o *hardware* projetado e então executado o *software* desenvolvido.

A utilização de uma FPGA permite o desenvolvimento de um sistema menor e mais barato em comparação a sistemas tradicionais (em torno de 18% do valor destes), o que é vantajoso principalmente do ponto de vista da medicina pública, pois seria possível construir mais equipamentos com um valor mais acessível, facilitando e auxiliando na realização de exames para a população. Desse ponto de vista, o sistema desenvolvido neste trabalho mostra que é possível desenvolver equipamentos mais acessíveis, do ponto de vista do custo, para auxiliar médicos na realização e na análise de exames. A utilização da FPGA Altera modelo EP4CGX15BN11C8N é suficiente para o desenvolvimento do equipamento, e o seu valor é de 5% em relação ao modelo utilizado na placa DE2-115.

Já em relação à programação do sistema, a utilização da linguagem C++ e dos blocos de propriedade intelectual da Altera tornou possível o desenvolvimento de sistemas a serem executados sobre o processador Nios II, configurado em uma FPGA, permitindo a execução de sistemas de apoio ao diagnóstico em equipamentos embarcados. A programação em uma linguagem orientada a objetos, como C++, torna possível o desenvolvimento de bibliotecas de uso geral, que, se adaptadas para o uso coletivo, podem ser utilizadas por qualquer desenvolvedor de *softwares* para esse ambiente, facilitando e tornando mais produtivo o desenvolvimento de sistemas CAD. Ainda, apesar de ser uma linguagem orientada a objetos, a linguagem C++ fornece ao desenvolvedor grande flexibilidade, sendo possível a criação de estruturas dinâmicas para rápido armazenamento e fácil liberação de memória, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas embarcados, onde normalmente a quantidade de memória é reduzida.

O *software* de processamento de imagens desenvolvido apresentou taxa de acerto superior a 92,50% no geral, utilizando as imagens simuladas, mesmo com a adição de ruídos, sendo que apenas a classificação de microcalcificações do tipo II ficou comprometida à medida que mais ruídos são adicionados às imagens. Como a principal característica de

microcalcificações desse tipo é em relação a sua borda, é possível que essa característica tenha sido alterada com a adição de ruídos, o que pode ter comprometido essa classificação.

A classificação de imagens reais sugeriu que o sistema pode ser utilizado para classificar microcalcificações, no entanto, imagens contendo o laudo de cada microcalcificação são necessárias para fazer a validação do sistema.

A utilização das características das microcalcificações foi suficiente para a distinção dos tipos de microcalcificações, e a forma de obtenção dessas características é feita de forma rápida para os requisitos do sistema. A forma de aquisição da altura e do comprimento das microcalcificações foi eficiente, pois nenhuma microcalcificação do tipo V foi classificada incorretamente em todos os testes, independentemente da quantidade de ruído adicionado às imagens de teste. Ainda, de forma geral, nenhuma microcalcificação deixou de ser detectada e nenhum objeto que não é uma microcalcificação foi detectado como sendo microcalcificação, o que é um fato positivo na classificação desses elementos.

#### 4.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Vários trabalhos podem ser realizados na área, tanto em relação à evolução do *software* desenvolvido quanto em relação à utilização de FPGA no desenvolvimento de equipamentos para a utilização na medicina. Em relação ao *software*, o próximo passo na sua continuação é conseguir imagens com seus respectivos laudos das microcalcificações e trabalhar na eficiência do método, seja no ajuste dos parâmetros utilizados como entrada da rede neural, os parâmetros da rede neural e também na utilização de imagens reais para o treinamento da rede neural.

Ainda em relação à rede neural, é possível alterá-la para analisar se a utilização de diferentes redes neurais possibilita capacidade de treinamento e processamento superiores à rede neural utilizada, ou então analisar a eficiência de outro classificador, como o SVM, por exemplo.

Outra proposta de evolução do *software* desenvolvido diz respeito à análise de outras características das microcalcificações como entradas da rede neural, que podem ser analisadas e verificadas em relação às utilizadas neste trabalho. Por exemplo, ao invés da tonalidade média da microcalcificação, poderia ser analisado o desvio padrão entre as tonalidades dos *pixels* de uma microcalcificação, ou então integrar ao *software* características da lógica nebulosa (lógica *fuzzy*) para auxiliar na classificação das microcalcificações.

Pode-se também avaliar e aperfeiçoar o algoritmo de crescimento de região, para que microcalcificações não sejam divididas em duas, como foi o caso em uma microcalcificação analisada nos testes. Sugere-se o desenvolvimento de um protótipo de um equipamento para auxiliar na detecção do câncer de mama, que possa ser integrado a mamógrafos digitais para facilitar a sua utilização por parte dos médicos.

Já em relação ao desenvolvimento de sistemas CAD, propomos a criação de uma biblioteca livre e pública de processamento de imagens (ou adequação de alguma já existente), que execute sobre o processador Nios e facilite o desenvolvimento de sistemas desse tipo, fornecendo aos desenvolvedores ferramentas de processamento de imagens básicas e, também, métodos para leitura e armazenamento de imagens nos diversos formatos existentes, como o PCX e o BMP utilizados neste trabalho, entre outros.

Por fim, sugerimos a construção de sistemas CAD em diversas áreas da medicina em sistemas embarcados, para obter equipamentos mais baratos e possibilitar a compra de mais equipamentos desse tipo, visando favorecer a medicina pública e seus usuários.

## REFERÊNCIAS

ADDISON, P. S. **The illustrated wavelet transform handbook**: introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2002. 353 p.

AKAY, M. **Time frequency and wavelets in biomedical signal processing**. New York: IEEE Press in Biomedical Engineering, 1998. 739 p.

ALTERA CORPORATION. **Nios II processor reference book**. San Jose: Altera Corporation, 2011a. 284 p.

ALTERA CORPORATION. **Nios II software developer's handbook**. San Jose: Altera Corporation, 2011b. 532 p.

ALTERA CORPORATION. **DE2-115 development and education board**. [S. I.: s. n.], 2013a. Disponível em: <<http://www.altera.com/education/univ/materials/boards/de2-115/unv-de2-115-board.html>>. Acesso em: 23 set. 2013.

ALTERA CORPORATION. **Quartus II web edition software**. [S. I.: s. n.], 2013b. Disponível em: <<http://www.altera.com/products/software/quartus-ii/web-edition/qts-we-index.html>>. Acesso em: 23 set. 2013.

ALTERA CORPORATION. **Computer organization - IP cores**. [S. I.: s. n.], 2013c. Disponível em: <[http://www.altera.com/education/univ/materials/comp\\_org/ip-cores/unv-ip-cores.html](http://www.altera.com/education/univ/materials/comp_org/ip-cores/unv-ip-cores.html)>. Acesso em: 23 set. 2013.

ALTERA CORPORATION. **Nios II embedded design suite legacy tools**. [S. I.: s. n.], 2013d. Disponível em: <<https://www.altera.com/download/software/nios-ii>>. Acesso em: 02 out. 2013.

ARODZ, T. et al. Detection of clustered microcalcifications in small field digital mammography. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, New York, v. 81, n. 1, p. 56-65, jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Manual de bases técnicas da oncologia: SIA/SUS - sistema de informações ambulatoriais**. 11. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2010. 100 p.

CHEN, Z.-H.; SU, A. W. Y.; SUN, M. T. Resource-efficient FPGA architecture and implementation of Hough transform. **IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems**, New York, v. 20, n. 8, p. 1419-1428, ago. 2012.

CHENG, H. D. et al. Approaches for automated detection and classification of masses in mammograms. **Pattern Recognition**, Oxford, v. 39, n. 4, p. 646-668, abr. 2006.

CHERIFI, D.; BEGHDADI, A.; BELBACHIR, A. H. A multiscale and multi-orientation contrast enhancement method for digital mammography. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING, 3., 2008, Malta. **Proceedings...** Malta: IEEE, 2008. p. 312-315.

CHO, J. U. et al. FPGA-based real-time visual tracking system using adaptive color histograms. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND BIOMIMETICS, 2007, Sanya. **Proceedings...** Sanya: IEEE, 2007. p. 172-177.

CHOWDHURY, S. R.; SAHA, H. Development of a FPGA based fuzzy neural network system for early diagnosis of critical health condition of a patient. **Computers in Biology and Medicine**, Elmsford, v. 40, n. 2, p. 190-200, fev. 2010.

CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F. R. **Computação gráfica: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. v. 2. 407 p.

DAUBECHIES, I. **Ten lectures on wavelets**. Philadelphia: SIAM, 1992. 355 p.

DEANS, S. R. **The radon transform and some of its applications**. Mineola: Dover Publications, 2007.

DHAWAN, A. P. et al. Classification of mammographic microcalcification and structural features using an artificial neural network. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 13., 1991, Orlando. **Proceedings...** Orlando: IEEE, 1991. p. 1105-1106.

DHEEBA, J.; SELVI, T. Classification of malignant and benign microcalcification using SVM classifier. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TRENDS IN ELECTRICAL AND COMPUTER TECHNOLOGY, 2011, Chunkankadai. **Proceedings...** Chunkankadai: IEEE, 2011. p. 686-690.

DÓCUSSE, T. A. **Um método para melhoria de qualidade de imagens médicas utilizando a transformada wavelet**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2008.

DÓCUSSE, T. A.; PEREIRA, A. S.; MARRANGHELLO, N. Microcalcification border characterization. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, New York, v. 28, n. 5, p. 41-43, set./out. 2009.

FENTIMAN, I. S.; FOURQUET, A.; HORTOBAGYI, G. N. Male breast cancer. **The Lancet**, London, v. 367, n. 9510, p. 595-604, fev. 2006.

FERREIRA, C. B. R.; BORGES, D. L. Analysis of mammogram classification using a wavelet transform decomposition. **Pattern Recognition Letters**, Amsterdam, v. 24, n. 7, p. 973-982, abr. 2003.

FOX, R. F.; MORGAN, M. P. Microcalcifications in breast cancer: lessons from physiological mineralization. **Bone**, Elmsford, v. 53, n. 2, p. 437-450, abr. 2013.

FREITAS, J. D. S. **Implementação de uma arquitetura para binarização de imagens em FPGA**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. **GE Healthcare-Product Technology - Mammography exam step-by-step**. [S. I.]: GE Healthcare, 2012. Disponível em: <<http://www.gehealthcare.com/euen/patient/mammography/mammography-info.html>>. Acesso em: 26 out. 2012.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 624 p.

GROUT, I. **Digital systems design with FPGAs and CPLDs**. Burlington: Newnes, 2008. 724 p.

GUIDO, R. C. **SpeechLab - IFSC/USP, Brazil**. São Carlos: SpeechLab, 2010. Disponível em: <<http://speechlab.ifsc.usp.br/index.html>>. Acesso em: 21 maio 2010.

HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 1999. 823 p.

HERNÁNDEZ-CISNEROS, R. R.; TERASHIMA-MARÍN, H. Evolutionary neural networks applied to the classification of microcalcification clusters in digital mammograms. In: IEEE CONGRESS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, 2006, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: IEEE, 2006. p. 2459-2466.

HUANG, C. S. et al. Microcalcifications of non-palpable breast lesions detected by ultrasonography: correlation with mammography and histopathology. **Ultrasound in Obstetrics and Gynecology**, Carnforth, v. 13, n. 6, p. 431-436, jun. 1999.

HUANG, J.; LI, J.; LIU, T. A new fast fractal coding method for the detection of microcalcifications in mammograms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA TECHNOLOGY, 2., 2011, Hangzhou. **Proceedings...** Hangzhou: IEEE, 2011. p. 4768-4771.

HUDDIN, A. B.; NG, B. W. H.; ABBOTT, D. Investigation of multiorientation and multiresolution features for microcalcifications classification in mammograms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SENSORS, SENSOR NETWORKS AND INFORMATION PROCESSING, 7., 2011, Adelaide. **Proceedings...** Adelaide: IEEE, 2011. p. 52-57.

HUNTER, D. et al. **Begging XML**. 4. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2007. 1080 p.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Estimativa 2014: incidência de câncer no Brasil**. Rio de Janeiro: Coordenação Geral de Ações Estratégicas, 2014.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **GLOBOCAN 2008: Country Fast Stat**. Lyon: GLOBOCAN 2008: Fast Stats, 2010. Disponível em: <<http://globocan.iarc.fr/>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

JINGHONG, D.; YALING, D.; KUN, L. Development of Image Processing System Based on DSP and FPGA. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC MEASUREMENT AND INSTRUMENTS, 8., 2007, Xian. **Proceedings...** Xian: IEEE, 2007. p. 2-791, 2-794.

JINGHONG, L.; RIQING, L.; XIAOHUI, Z. Design and research of video fire detection system based on FPGA. In: CHINESE CONTROL AND DECISION CONFERENCE, 2011, Mianyang. **Proceedings...** Mianyang: IEEE, 2011. p. 1677-1679.

LADO, M. J. et al. A wavelet-based algorithm for detecting clustered microcalcifications in digital mammograms. **Medical Physics**, College Park, v. 26, n. 7, p. 1294-1305, jul. 1999.

LAHMIRI, S.; BOUKADOUM, M. DWT and RT-based approach for feature extraction and classification of mammograms with SVM. In: IEEE BIOMEDICAL CIRCUITS AND SYSTEMS CONFERENCE, 2011, San Diego. **Proceedings...** San Diego: IEEE, 2011. p. 412-415.

LE GAL, M.; PELLIER, D.; CHAVANNE, G. Valeur diagnostique des microcalcifications groupées découvertes par mammographies. **Bull Cancer**, Paris, v. 71, n. 1, p. 57-64, 1984.

MATURANA, P. S. **Algoritmos de detecção de bordas implementados em FPGA**. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

MOUSA, R.; MUNIB, Q.; MOUSSA, A. Breast cancer diagnosis system based on wavelet analysis and fuzzy-neural. **Expert Systems with Applications**, Rockville, v. 28, n. 4, p. 713-723, maio 2005.

MUSTRA, M.; GRGIC, M.; DELAC, K. Enhancement of microcalcifications in digital mammograms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, SIGNALS AND IMAGE PROCESSING, 19., 2012, Vienna. **Proceedings...** Vienna: IEEE, 2012. p. 248-251.

MUTTARAK, M.; KONGMEBHOL, P.; SUKHAMWANG, N. Breast calcifications: which are malignant?. **Singapore Medical Journal**, Singapore, v. 50, n. 9, p. 907-913, set. 2009.

PARVATHAM, N.; GOPALAKRISHNAN, S. A novel architecture for an efficient implementation of image compression using 2D-DWT. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS, MODELLING AND SIMULATION, 3., 2012, Kota Kinabalu. **Proceedings...** Kota Kinabalu: IEEE, 2012. p. 374-378.

PEREIRA, A. S. **Processamento de imagens médicas utilizando transformada de Hough**. 1995. 263 f. Tese (Doutorado em Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

RASBAND, W. **ImageJ**. [S. I.: s. n.], 2013. Disponível em: <<http://rsbweb.nih.gov/ij/>>. Acesso em: 04 out. 2013.

REZAI-RAD, G.; JAMARANI, S. Detecting microcalcification clusters in digital mammograms using combination of wavelet and neural network. In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS, IMAGING AND VISION: NEW TRENDS, 2005, Beijing. **Proceedings...** Beijing: IEEE, 2005. p. 197-201.

SAADI, S.; GUESSOUM, A.; BETTAYEB, M. Neutron radiography images restoration on fpga embedded implementation. In: INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON SYSTEMS, SIGNALS AND DEVICES, 9., 2012, Chemnitz. **Proceedings...** Chemnitz: IEEE, 2012. p. 1-6.

SAGE, D. **SNR**. Biomedical Imaging Group. Lausanne: École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2013. Disponível em: <<http://bigwww.epfl.ch/sage/soft/snr/>>. Acesso em: 04 out. 2013.

SAHBA, F.; VENETSANOPOULOS, A. Contrast enhancement of mammography images using a fuzzy approach. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 30., 2008, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: IEEE, 2008. p. 2201-2204.

SCARANELO, A. M. Leite de cálcio. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 122-122, abr. 2004.

SCHARCANSKI, J.; JUNG, C.. Denoising and enhancing digital mammographic images for visual screening. **Computerized Medical Imaging and Graphics**, Scottsdale, v. 30, n. 4, p. 243–254, jun. 2006.

SCILAB ENTERPRISES S. A. S. **Home**: Scilab. Orsay Cedex: Scilab Enterprises S. A. S., 2013. Disponível em: <<http://www.scilab.org>>. Acesso em: 10 out. 2013.

SHEWRING, I. W.; WAHAB, M. A. An integrated approach to the design and implementation of image filters. In: SARAGA COLLOQUIUM ON DIGITAL AND ANALOGUE FILTERS AND FILTERING SYSTEMS, 15., 1995, London. **IEE Colloquium Digest...** London: IEE, 1995. p. 13/1 - 13/7.

SIGNAL AND IMAGE PROCESSING INSTITUTE. **SIPI Image Database**. Los Angeles: University of Southern California, 2011. Disponível em: <<http://sipi.usc.edu/database/database.php>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

SONG, L. et al. Enhancement of microcalcifications based on fractal techniques in mammograms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 5., 2011, Wuhan. **Proceedings...** Wuhan: IEEE, 2011. p. 1-4.

STRICKLAND, R. N.; HAHN, H. I. Wavelet transform matched filters for the detection and classification of microcalcifications in mammography. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 1995, Washington. **Proceedings...** Washington: IEEE, 1995. p. 422-425.

SUSAN G. KOMEN FOR THE CURE. **Facts for life**: breast calcification. [S. I.: s. n.], 2012. Disponível em: <<http://www.shopkomen.com/PDF/KOMEED002100.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

TED GRUBER SOFTWARE. **PCX header format**. Las Vegas: Ted Gruber Software, 2001a. Disponível em: <[http://www.fastgraph.com/help/pcx\\_header\\_format.html](http://www.fastgraph.com/help/pcx_header_format.html)>. Acesso em: 07 dez. 2012.

TED GRUBER SOFTWARE. **BMP (windows) header format**. Las Vegas: Ted Gruber Software, 2001b. Disponível em: <[http://www.fastgraph.com/help/bmp\\_header\\_format.html](http://www.fastgraph.com/help/bmp_header_format.html)>. Acesso em: 26 set. 2013.

TIRTAJAYA, ; SANTIKA , D. D. Classification of microcalcification using dual-tree complex wavelet transform and support vector machine. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, CONTROL AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES, 2., 2010, Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: IEEE, 2010. p. 164-166.

TTOFIS, C.; THEOCHARIDES, T. Towards accurate hardware stereo correspondence: a real-time FPGA implementation of a segmentation-based adaptive support weight algorithm. In: DESIGN, AUTOMATION AND TEST IN EUROPE CONFERENCE AND EXHIBITION, 2012, Dresden. **Proceedings...** San Jose: EDA Consortium, 2012. p. 703-708.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World cancer report 2008**. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2008. 511 p.

WU, Z. et al. Digital mammography image enhancement using improved unsharp masking approach. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 3., 2010, Yantai. **Proceedings...** Yantai: IEEE, 2010. p. 668-672.

YADAV, A.; SINGH, B.; SINGH, S. Comparative analysis of different enhancement method on digital mammograms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, 2., 2011, Allahabad. **Proceedings...** Allahabad: IEEE, 2011. p. 159-163.

ZANCA, F. et al. An improved method for simulating microcalcifications in digital mammograms. **Medical Physics**, College Park, v. 35, n. 9, p. 4012-4018, set. 2008.

## APÊNDICE A – COEFICIENTES WAVELET UTILIZADOS

Neste apêndice são apresentados os coeficientes *wavelets* utilizados neste trabalho. Para a *wavelet* de Haar, os coeficientes do filtro passa-baixas utilizados foram os seguintes:

(0,7071067, 0,7071067)

Para a *wavelet* Symmlets de suporte 16, os coeficientes do filtro passa-baixas utilizados foram os seguintes:

(0,001889950333, -3,02920515E-4, -0,014952258337, 0,003808752014, 0,049137179674, -  
0,027219029917, -0,051945838108, 0,364441894835, 0,777185751701, 0,481359651258, -  
0,061273359068, -0,143294238351, 0,007607487325, 0,031695087811, -5,42132332E-4, -  
0,003382415951)

## APÊNDICE B – MANUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS EM C++ PARA PLACA DE DESENVOLVIMENTO ALTERA DE2-115

O desenvolvimento de sistemas na linguagem C++ para ser executado em um processador Nios II, configurado na placa DE2-115 da Altera, requer a instalação dos seguintes *softwares*:

- a) Altera Nios II 12.0 Web Edition, disponível em (ALTERA CORPORATION, 2013b);
- b) Altera University Program 12.0, disponível em (ALTERA CORPORATION, 2013c);
- c) Altera Nios II Embedded Design Suite Legacy Tools, disponível em (ALTERA CORPORATION, 2013d).

Após a instalação dos *softwares* listados anteriormente, é necessário criar um projeto no Quartus II. Para isso, acesse o menu *File*, e depois *New Project Wizard*. Clique em *Next*. Na próxima tela, escolha o local onde seu projeto será armazenado, nomeie seu projeto, clique em *Next*, e na tela seguinte, clique em *Next* novamente. Na próxima tela, *Family & Device Settings*, em *Device Family*, escolha “Cyclone IV E”, e em *Available Devices*, selecione o modelo da FPGA presente na placa DE2-115 (EP4CE115F29C7). Clique em *Finish*. Após a criação do projeto, acesse o menu *File*, e depois *New*. Escolha a opção *Verilog HDL File*, e clique em *OK*. No arquivo criado, você deverá digitar o código contido na Figura 60, sendo que a palavra “teste” na primeira linha deve possuir o mesmo nome do projeto criado. Em seguida, salve esse arquivo com o mesmo nome do projeto e a extensão *.v* (no caso da Figura 60, teste.v).

Figura 60 – Código inicial em Verilog para projeto na placa DE2-115.

```

module teste (
CLOCK_50, KEY, LCD_BLON, LCD_DATA, LCD_EN, LCD_ON, LCD_RS,
LCD_RW, SD_CLK, SD_CMD, SD_DAT, SD_WP_N, DRAM_ADDR, DRAM_BA,
DRAM_CAS_N, DRAM_CKE, DRAM_CLK, DRAM_CS_N, DRAM_DQ, DRAM_DQM,
DRAM_RAS_N, DRAM_WE_N
);

input                                CLOCK_50;

input                                [3:0]    KEY;

output                                LCD_BLON;
input                                [7:0]    LCD_DATA;
output                                LCD_EN;
output                                LCD_ON;
output                                LCD_RS;
output                                LCD_RW;

output                                SD_CLK;
input                                SD_CMD;
input                                [3:0]    SD_DAT;
input                                SD_WP_N;

output                                [12:0]   DRAM_ADDR;
output                                [1:0]    DRAM_BA;
output                                DRAM_CAS_N;
output                                DRAM_CKE;
output                                DRAM_CLK;
output                                DRAM_CS_N;
input                                [31:0]   DRAM_DQ;
output                                [3:0]    DRAM_DQM;
output                                DRAM_RAS_N;
output                                DRAM_WE_N;

assign DRAM_CLK = CLOCK_50;
assign LCD_BLON = 0;
assign LCD_ON = 1'b1;

endmodule

```

Fonte: Elaboração do autor.

Agora devem ser escolhidos os componentes de *hardware* necessários para o projeto. Acesse o menu *Tools*, depois *SOPC Builder*. Na tela que se abrir, digite um nome para o projeto, escolha a linguagem Verilog e clique em *OK*. O próximo passo é inserir os componentes desejados utilizando a tela da esquerda. Os componentes a serem inseridos, com suas configurações padrão, são: *Nios II Processor*, *JTAG UART*, *Character LCD*, *SD Card Interface* e *Parallel Port*. Em seguida, adicione o componente *SDRAM Controller*, escolhendo em *Presets* a opção *Custom*, e em *Address widths Row* o valor 13, e em *Column* o valor 10 (para utilizar toda a memória SDRAM da placa DE2-115). Após adicionar todos os

componentes, é necessário alterar algumas propriedades do processador Nios. Para isso, selecione a linha correspondente a ele e clique no botão *Edit*. Em *Reset Vector: Memory*, escolha o nome do componente SDRAM adicionado no projeto, e repita esse procedimento em *Exception Vector: Memory*. Por fim, é necessário atribuir endereços válidos para cada componente, acessando o menu *System* e depois *Assign Base Address*. Clique em *Generate* e salve o arquivo a ser gerado na pasta desejada.

Retornando ao Quartus, é necessário realizar a atribuição dos pinos para cada componente do *hardware* criado. Para isso, acesse o menu *Assignments* e depois *Pin Planner*. Consulte o manual da placa DE2-115 para fazer a atribuição correta para os pinos (ou consiga o arquivo com a extensão *.csv* que já possui todas as atribuições feitas). Após a atribuição, abra na pasta onde o projeto foi salvo, e abra o arquivo que possui o nome do projeto criado no SOPC Builder, com o final do nome do arquivo contendo “\_inst.v”. Copie o conteúdo desse arquivo para o arquivo criado anteriormente no Quartus com a extensão “.v”, imediatamente antes da linha contendo o código “assign DRAM\_CLK = CLOCK\_50;”. Apague o conteúdo do arquivo que termina com o nome “\_inst.v”. Em seguida, faça as atribuições dos componentes do projeto criado no SOPC Builder pelas portas do projeto atual, alterando o valor entre parênteses pelo nome das portas criadas anteriormente, ficando de acordo com o código presente na Figura 61. Em seguida, compile o projeto.

Figura 61 – Atribuições das entradas e saídas de acordo com os dados do SPOC Builder.

```

projeto projeto_inst
(
.KEY_to_the_parallel_port_0                (KEY),
.LCD_E_from_the_lcd_0                      (LCD_EN),
.LCD_RS_from_the_lcd_0                    (LCD_RS),
.LCD_RW_from_the_lcd_0                    (LCD_RW),
.LCD_data_to_and_from_the_lcd_0           (LCD_DATA),
.b_SD_cmd_to_and_from_the_Altera_UP_SD_Card_Avalon_Interface_0 (SD_CMD),
.b_SD_dat3_to_and_from_the_Altera_UP_SD_Card_Avalon_Interface_0 (SD_WP_N),
.b_SD_dat_to_and_from_the_Altera_UP_SD_Card_Avalon_Interface_0 (SD_DAT),
.clk_0                                     (CLOCK_50),
.o_SD_clock_from_the_Altera_UP_SD_Card_Avalon_Interface_0      (SD_CLK),
.reset_n                                   (1'b1),
.zs_addr_from_the_sdram_0                 (DRAM_ADDR),
.zs_ba_from_the_sdram_0                   (DRAM_BA),
.zs_cas_n_from_the_sdram_0                (DRAM_CAS_N),
.zs_cke_from_the_sdram_0                  (DRAM_CKE),
.zs_cs_n_from_the_sdram_0                 (DRAM_CS_N),
.zs_dq_to_and_from_the_sdram_0            (DRAM_DQ),
.zs_dqm_from_the_sdram_0                  (DRAM_DQM),
.zs_ras_n_from_the_sdram_0                (DRAM_RAS_N),
.zs_we_n_from_the_sdram_0                 (DRAM_WE_N)
);

```

Fonte: Elaboração do autor.

Após a compilação do projeto, é necessário configurar a FPGA da placa DE2-115 com o *hardware* projetado. Conecte a placa ao computador e acesse o menu *Tools*, e depois, *Programmer*. Escolha o arquivo com a extensão “.sof” gerado e clique em “Start”. Após configurar a FPGA, acesse o menu *Tools* e em seguida *Nios II Software Build Tools for Eclipse*. Escolha a pasta onde deseja salvar o código-fonte do *software* a ser criado, e clique em *OK*. Acesse o menu *File* e depois em *New Nios II Application and BSP from Template*. Em *SOPC Information File Name*, encontre o arquivo com a extensão “.sopcinfo” localizado na pasta onde o projeto do Quartus foi criado. Atribua um nome ao projeto do *software*, escolha *Blank Project* e clique em *Finish*. Clique com o botão direito na pasta com o nome do projeto, na janela à esquerda, e escolha a opção *New File from Template*. Atribua um nome ao arquivo, adicionando a ele a extensão “.cpp”, e clique em *Finish*.

Ainda, é necessário alterar dois arquivos do bloco de propriedades intelectuais da Altera, para que seja possível configurar o controlador do cartão SD utilizando a linguagem C++. Primeiramente, é necessário realizar duas alterações no arquivo nomeado “altera\_up\_sd\_card\_avalon\_interface.h”, que pode ser encontrando expandindo a pasta do projeto com o final do nome contendo as letras “bsp”, escolhendo a pasta “drivers” e por fim a pasta “inc”. As alterações a serem realizadas são as seguintes:

- a) há uma definição para uma enumeração chamada `e_bool` na linha 27. Essa definição deve ser removida;
- b) deve ser feita uma referência para os tipos de dados lógicos da linguagem C++, incluindo uma referência para a biblioteca `stdbool.h` nesse arquivo.

Outra alteração necessária que deve ser realizada é em relação ao tipo de dado retornado pela função responsável por ler os valores do cartão de memória. Para isso, no arquivo nomeado “`altera_up_sd_card_avalon_interface.h`”, altere o tipo de retorno da função denominada “`alt_up_sd_card_read`”, localizada na linha 107, de `short int` para `int`. Em seguida, no arquivo nomeado “`altera_up_sd_card_avalon_interface.c`”, que pode ser localizado na pasta “`src`”, as seguintes alterações devem ser realizadas:

- a) o retorno da função “`alt_up_sd_card_read`”, localizada na linha 1676, deve ser alterado de `short int` para `int`;
- b) a variável denominada `ch`, declarada na função “`alt_up_sd_card_read`” na linha 1680, deve ter seu tipo alterado de `char` para `int`;
- c) na atribuição da variável `ch`, dentro da função “`alt_up_sd_card_read`”, na linha 1733, o *casting* deve ser alterado de `char` para `int`.

Terminadas as alterações, o arquivo com a extensão “.cpp” criado já pode ser programado com o código desejado. É necessário que o arquivo possua uma função *main*, que será executada quando o programa for executado. Para executar o projeto, clique com o botão direito em cima de sua pasta, e escolha a opção *Run as – Nios II Hardware*. A Altera disponibiliza, juntamente com o pacote universitário, documentos detalhando a utilização dos componentes (ALTERA CORPORATION, 2011b). A seguir são apresentados alguns exemplos de programação básica desses componentes.

## B.1 PROGRAMAÇÃO DO LCD

A programação do LCD requer a utilização da biblioteca `stdio.h`. O LCD é aberto como um arquivo na linguagem C++, sendo que um ponteiro do tipo `FILE` deve ser aberto utilizando a função *fopen* no formato de escrita, utilizando como endereço o caminho “`/dev/lcd`”, sendo que “`lcd`” deve ser substituído pelo nome do componente utilizado no SOPC Builder. Para exibir algo no LCD, basta usar a função *fprintf* para escolher o que deve ser

apresentado. O código apresentado na Figura 62 é um exemplo de utilização do LCD para o exemplo criado neste apêndice.

Figura 62 – Código para a utilização do LCD.

```
#include <stdio.h>
int main()
{
    FILE *lcd = fopen("/dev/lcd_0", "w");
    fprintf(lcd, "Teste do LCD");
    return 0;
}
```

Fonte: Elaboração do autor.

## B.2 PROGRAMAÇÃO DOS BOTÕES DE PRESSÃO

A programação dos botões de pressão deve ser feita utilizando a biblioteca *altera\_up\_avalon\_parallel\_port.h*. É necessário declarar um ponteiro do tipo *alt\_up\_parallel\_port\_dev*, que é utilizado como retorno da função *alt\_up\_parallel\_port\_open\_dev*, que recebe como parâmetro o nome onde a porta paralela está presente, no formato “/dev/parallel\_port”, sendo que “parallel\_port” deve ser alterado pelo nome utilizado no projeto criado no SOPC Builder. Em seguida, deve-se utilizar a função *alt\_up\_parallel\_port\_read\_data* para ler a porta paralela e receber o valor do botão que foi retornado. O código apresentado na Figura 63 é um exemplo de *software* que escreve no LCD o nome do botão que foi pressionado, que pode ser executado no *hardware* projetado anteriormente neste apêndice.

Figura 63 – Código para a utilização do LCD e dos botões de pressão.

```

#include <stdio.h>
#include "altera_up_avalon_parallel_port.h"
int main()
{
    FILE *lcd = fopen("/dev/lcd_0", "w");
    alt_up_parallel_port_dev *key =
alt_up_parallel_port_open_dev("/dev/parallel_port_0");
    while(true)
    {
        int valor = alt_up_parallel_port_read_data (key);
        while (alt_up_parallel_port_read_data (key));
        if (valor == 0x1)
            fprintf(lcd, "0 acionado.\n\n");
        else if (valor == 0x2)
            fprintf(lcd, "1 acionado.\n\n");
        else if (valor == 0x4)
            fprintf(lcd, "2 acionado.\n\n");
        else if (valor == 0x8)
            fprintf(lcd, "3 acionado.\n\n");
    }
    return 0;
}

```

Fonte: Elaboração do autor.

### B.3 PROGRAMAÇÃO DO LEITOR DE CARTÕES SD

A programação do leitor SD deve levar em conta que o bloco de propriedade intelectual da Altera aceita apenas cartões no formato FAT16. É necessário incluir a biblioteca “altera\_up\_sd\_card\_avalon\_interface.h” para acessar as funções do leitor de cartões SD. Para a leitura de um arquivo, é necessário primeiro abrir o cartão SD, utilizando a função *alt\_up\_sd\_card\_open\_dev* e indicando o nome do componente do cartão, criado no SOPC Builder. Em seguida, a função *alt\_up\_sd\_card\_fopen* é utilizada para abrir um arquivo, e as funções *alt\_up\_sd\_card\_is\_Present* e *alt\_up\_sd\_card\_is\_FAT16* são usadas respectivamente para verificar se o cartão está conectado e se ele está no formato FAT16. A função *alt\_up\_sd\_card\_read* é utilizada para ler um *byte* do arquivo especificado, e a função *alt\_up\_sd\_card\_write* é utilizada para escrever um *byte* no arquivo. A função *alt\_up\_sd\_card\_fclose* é utilizada para fechar o arquivo aberto anteriormente. O código apresentado na Figura 64 é um exemplo de *software* que lê um arquivo da raiz do cartão SD, chamado “teste.txt”, e escreve o primeiro *byte* dele em outro arquivo, chamado “resul.txt”, criado também na raiz do cartão.

Figura 64 – Código para a utilização do cartão SD.

```
#include <stdio.h>
#include <altera_up_sd_card_avalon_interface.h>
int main()
{
    alt_up_sd_card_dev *sdc card =
alt_up_sd_card_open_dev("/dev/Altera_UP_SD_Card_Avalon_Interface_0");
    if(sdc card != NULL)
    {
        if(alt_up_sd_card_is_Present() && alt_up_sd_card_is_FAT16())
        {
            short handle = alt_up_sd_card_fopen("teste.txt", false);
            if(handle != -1)
            {
                short int b = alt_up_sd_card_read(handle);
                alt_up_sd_card_fclose(handle);

                handle = alt_up_sd_card_fopen("resul.txt", true);
                if(handle != -1)
                {
                    alt_up_sd_card_write(handle, b);
                    alt_up_sd_card_fclose(handle);
                }
            }
        }
    }
    return 0;
}
```

Fonte: Elaboração do autor.