



Centro de Tecnologia e Urbanismo
Departamento de Engenharia Elétrica

Alecsander Pereira Martins

Inspeção Dimensional Utilizando Visão Computacional Em Plataforma Móvel

Qualificação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina como Parte dos Requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Londrina, PR
2013



Alecsander Pereira Martins

Inspeção Dimensional Utilizando Visão Computacional Em Plataforma Móvel

Qualificação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina como Parte dos Requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Visão Computacional
Especialidade: Processamento de Imagem

Orientador:
Prof. Dr. José Carlos Pizolato Jr.

Londrina, PR
2013

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M386i Martins, Alecsander Pereira.

Inspeção dimensional utilizando visão computacional em plataforma
móvel / Alecsander Pereira Martins. – Londrina, 2013.
96 f. : il.

Orientador: José Carlos Pizolato Jr.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica,
2013.

Inclui bibliografia.

1. Sistemas de comunicação móvel – Teses. 2. Computação móvel – Teses. 3. Imagens
digitais – Análise – Teses. 4. Alvenaria – Fenda – Teses. 5. Concreto – Fenda –
Teses. 6. Engenharia elétrica – Teses. I. Pizolato Jr., José Carlos. II. Universidade
Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU 621.3

ALECSANDER PEREIRA MARTINS

**INSPEÇÃO DIMENSIONAL UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL
EM PLATAFORMA MÓVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina como Parte dos Requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Carlos Pizolato Jr.
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Franklin César Flores
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Alan Salvany Felinto
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 22 de Fevereiro de 2013.

*Dedico este trabalho à esposa Lucimeire e
filhos Vitor e Bianca*

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Carlos Pizolato Junior pela constante e pronta orientação neste trabalho.

Ao professores do Mestrado em Engenharia Elétrica da UEL.

Aos amigos de estudo da UEL e pessoal do CTU, Francisco e Giorgli.

A minha família pelo apoio durante esta jornada.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema de visão computacional implementado em plataforma móvel para tarefas de monitoramento dimensional em duas aplicações: monitoramento de fissuras em alvenaria na engenharia civil e no monitoramento do crescimento de micro-organismos incubados em placas de Petri em biotecnologia. O algoritmo de processamento de imagem proposto desempenha a tarefa de comparação dimensional presente em imagens obtidas em diferentes fases de evolução de fissuras e de micro-organismos. O sistema de visão computacional integra hardware e software em uma plataforma móvel, neste caso um aparelho celular. A contribuição está no desenvolvimento de um instrumental móvel de resposta rápida para auxiliar o técnico ou especialista em análises de monitoramento dimensional, que substitui a metodologia convencional manual. Testes experimentais demonstraram alterações dimensionais detectados pelo sistema proposto de uma maneira mais rápida e precisa quando comparado com as técnicas convencionais, apresentando a flexibilidade de atuar no local da aplicação. Para validar os resultados obtidos na plataforma móvel, as imagens dos testes experimentais foram submetidas a testes comparativos processadas em software com algoritmo de análise de imagem em computador. Este sistema de visão computacional apresenta a vantagem adicional da versatilidade em produzir resultados com menor erro de repetibilidade, independente da irregularidade das áreas das fissuras e de micro-organismos observados, comparado aos métodos convencionais de medição.

Abstract

This study has as purpose the development of a computational vision-based system implemented on mobile platform for dimensional tracking in two applications: monitoring cracks in masonry on civil engineering and monitoring the growth of microorganisms incubated on Petri dishes on biotechnology. The proposed image processing algorithm performs the task of dimensional comparison on images obtained in different phases of the evolution of cracks and microorganisms, respectively. The computational vision system integrates hardware and software on a mobile platform, in this case a mobile phone. The contribution is on the development of a mobile instrumental with rapid response to assist the technician or specialist in analysis of dimensional monitoring, which replaces the conventional manual methodology. Experimental tests show dimensional alterations detected by the proposed system in a faster and more precise way when compared to the conventional techniques, offering the flexibility of operating at the same place of the application. In order to validate the results obtained on the mobile platform, the experimental tests' images were submitted to comparative tests and processed on software with image analysis algorithm on computer. This computational vision system presents the additional advantage of versatility on producing results with smaller repeatability errors, regardless both the irregularity of the cracks areas and the observed microorganisms, when compared to the corresponding conventional measuring techniques.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

1	Introdução	1
1.1	Objetivo Geral	2
1.2	Objtivos Específicos	2
1.3	Justificativa	3
1.4	Estrutura Do Trabalho	4
2	Fundamentação Teórica	6
2.1	Conceito de Imagem	6
2.2	Sistema De Visão Computacional	7
2.3	Parâmetros Em Visão Computacional	8
2.4	<i>Software</i> Para Plataforma Móvel	11
2.5	Inspeção Dimensional Utilizando Visão Computacional	15
2.6	Inspeção Visual Convencional Na Engenharia Civil	15
2.7	Trabalhos Relacionados À Insp. Visual De Fissuras Utiliz. Visão Computacional	19
2.8	Inspeção Visual Convencional Em Biotecnologia	20
2.9	Trabalhos Relacionados À Insp. Visual De Micro-organismos Utiliz. Visão Computacional	22
3	Desenvolvimento do Método Proposto	26

3.1	Método Proposto No Monitoramento Dimensional Utilizando Visão Computacional	26
3.2	Processamento Digital Da Imagem Em Plataforma Móvel	27
3.3	Experimentos Comparativos e Discussão Dos Resultados	32
3.3.1	Experimento Comparativo No Monitoramento De Fissuras Em Concreto	32
3.3.2	Experimento Comparativo No Monitoramento De Colônias De Microorganismos <i>S. cerevisiae</i> Em Placa De Petri	42
3.3.3	Discussão Dos Resultados	51
3.4	Avaliação Do Método Proposto	52
3.4.1	Avaliação Da Variação Do Limiar Nos Resultados Do Monitoramento De Imagem No Método Proposto	52
3.4.2	Avaliação Do Método Proposto Comparado Ao Processamento Em PC	53
3.4.3	Avaliação Do Método Proposto Comparado A Um <i>Software</i> De Processamento De Imagem	54
3.5	Limitações do Método Proposto	55
	Conclusão	57
	Referências	60
	Apêndice A – Endereços eletrônicos para acesso aos trabalhos publicados pelo autor	64
	Apêndice B – Especificações do sistema de visão p/ monitoramento de fissuras e de colônias de <i>S. cerevisiae</i>	65
	Apêndice C – Código fonte utilizado na plataforma móvel para o monitoramento de imagens	66

Lista de Figuras

2.1	Detalhe de um ponto da função $f(x, y)$ representado em uma imagem digital. Fonte: Próprio autor	6
2.2	Componentes de um sistema de processamento de imagens. Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2000).	7
2.3	Representação de uma câmera e sensor, com o parâmetro da distância de trabalho, o campo de visão e resolução. Fonte: Traduzido de (EDMUND, 2012).	10
2.4	Imagem de uma fissura em alvenaria com diferentes distâncias de trabalho. (a) Imagem obtida com valor acima da WD_{max} . (b) Imagem obtida com valor abaixo da WD_{min} . (c) Imagem com a distância de trabalho entre o valor mínimo (WD_{min}) e máximo (WD_{max}). Fonte: Próprio autor.	10
2.5	Tela inicial do <i>software Visual Studio Express 2010</i> . Fonte: (BINKLEY; PERGA; SYNC, 2012).	12
2.6	Tela do <i>software Visual Studio Express 2012</i> com linhas de programação em <i>Visual Basic.NET</i> . Fonte: Próprio autor.	13
2.7	Tela do <i>software Visual Studio Express 2012</i> com emulador. Detalhe da tela do emulador do <i>Windows Phone</i> . Detalhe das respectivas linhas de funções referente à tela do emulador para a plataforma móvel. Fonte: Próprio autor.	14
2.8	Instrumento comparador de fissuras. (a) Comparador durante a medição da abertura de fissura sobre a estrutura em alvenaria avariada. (b) Detalhe da escala do instrumento comparador com a indicação de 0,70mm de abertura de fissura. (a) Fonte: (OZ, 2013). (b) Fonte: Próprio autor.	16
2.9	Instrumento paquímetro digital em medição convencional da abertura da fissura em alvenaria. A dimensão da fissura é indicada no visor após posicionamento do instrumento sobre a fissura na estrutura avariada. Fonte: Próprio autor.	16

2.10	Calibrador de lâminas para medição da abertura de fissura. Este instrumento numa medição convencional permite uma verificação comparativa entre a abertura da fissura em alvenaria e a espessura da lâmina. Fonte: Próprio autor.	17
2.11	Instrumento extensômetro mecânico. Esta ferramenta é instalada entre as estruturas avariadas, permitindo uma leitura de valores da abertura de fissura diretamente no mostrador analógico. Fonte: (MASTRAD, 2012).	18
2.12	Instrumento extensômetro elétrico instalado em corpo de prova. Este instrumento pode ser instalado na superfície em alvenaria ou corpo de prova, gerando sinal elétrico proporcional à deformação obtida. Fonte: (EPSILON, 2013).	18
2.13	Colônias de <i>S. cerevisiae</i> em Placa de Petri. Fonte: Próprio autor.	21
2.14	Instrumentos de metrologia dimensional em medição convencional de colônia do micro-organismo <i>S. cerevisiae</i> . (a) Escala graduada. (b) Instrumento paquímetro digital. Fonte: Próprio autor.	22
3.1	Diagrama em blocos do sistema de visão proposto. Fonte: Próprio autor.	27
3.2	Imagem da estrutura em alvenaria com fissura e imagem de uma placa de Petri com colônias de <i>S. cerevisiae</i> . (a) Imagem de fissura em alvenaria representada em escala com 256 níveis de cinza. (b) Imagem de uma placa de Petri com colônias de <i>S. cerevisiae</i> em na escala com 256 níveis de cinza. Fonte: Próprio autor.	28
3.3	Diagrama em blocos do processamento digital da imagem no sistema de monitoramento proposto. Fonte: Próprio autor.	28
3.4	Imagem original e binária da fissura em alvenaria. (a) Imagem de uma fissura em alvenaria. (b) Imagem binária da fissura em alvenaria aplicando o valor de limiar 145. Fonte: Próprio autor.	30
3.5	Imagem binária da fissura em alvenaria com diferentes limiares. (a) Imagem binária de uma fissura em alvenaria com valor do limiar em 154, apresentando características do fundo da imagem. (b) Imagem binária de fissura em alvenaria aplicando o valor de limiar 138, perdendo forma na fissura. Fonte: Próprio autor.	30

3.6	(a) Imagem binária de uma fissura em alvenaria com os <i>pixels</i> brancos representando o fundo e os <i>pixels</i> pretos indicando a fissura. (b) Imagem da placa de Petri, com os <i>pixels</i> brancos indicando as colônias de <i>S. cerevisiae</i> em placa de Petri, e os <i>pixels</i> pretos o fundo da imagem. Fonte: Próprio autor.	31
3.7	Sistema de aquisição de imagem do sistema de visão proposto para o monitoramento de fissuras. (a). Aparelho celular posicionado na base e suporte sobre uma estrutura em alvenaria. Neste caso foi ajustada uma distância de trabalho em 200 mm entre a câmera do aparelho celular e a estrutura em alvenaria. (b). Guia direcional da estrutura em alvenaria colocado na base suporte do sistema de aquisição de imagem proposto. (c). Vista interna da base suporte e o detalhe da abertura para a câmera do aparelho celular localizado atrás da iluminação. Fonte: Próprio autor.	33
3.8	Máquina de ensaio utilizada na engenharia civil para verificar comportamento e resistência à compressão em corpo de prova. Fonte: Próprio autor.	34
3.9	Processamento de uma imagem de fissuras no aparelho celular com o sistema <i>Windows Phone</i> : (a) Seleção do sistema de captura de imagem a ser processada (<i>wPhoneFissuras</i>); (b) Seleção do sistema (tela inicial) e do limiar para o processamento da imagem a ser capturada; (c) Processamento (monitoramento) da imagem capturada; (d) Imagem binária da fissura e a apresentação do resultado dos <i>pixels</i> monitorados da imagem. Fonte: Próprio autor.	36
3.10	Gráfico com os valores da região percentual ocupada pelas fissuras em três corpos de prova obtidos com a plataforma móvel em 22 etapas de medições. Fonte: Próprio autor.	37
3.11	Gráfico apresentando os erros médios percentuais na repetibilidade entre as medições dos técnicos (A e B) com a régua graduada, o paquímetro digital, e o sistema proposto. Foram 22 etapas de medição, durante o monitoramento de fissuras no corpo de prova número 3. Fonte: Próprio autor.	39

3.12	Gráfico com os valores de erros de repetibilidade de medições de fissura no corpo de prova. No total, foram realizadas 22 etapas de comparações entre o paquímetro digital e o método proposto. Fonte: Próprio autor.	40
3.13	Tempo de medições no método convencional durante 22 etapas de medições no corpo de prova número 3. Fonte: Próprio autor. . . .	41
3.14	Comparação de erro de repetibilidade entre o método proposto e o método convencional com o paquímetro digital, em relação às dimensões físicas das aberturas de fissuras. Fonte: Próprio autor.	42
3.15	Sistema aquisição de imagem com o sistema de visão proposto para monitoramento de colônias. (a). Aparelho celular posicionado sobre uma placa de Petri na base suporte com o tubo de proteção da iluminação. (b) Detalhe da distância de trabalho entre a câmera do aparelho celular e a placa de Petri localizada no conjunto inferior do sistema de aquisição da imagem. Fonte: Próprio autor.	44
3.16	Processamento de uma imagem da placa de Petri no aparelho celular com o sistema <i>Windows Phone</i> : (a) Tela inicial do aparelho celular com o ícone <i>WphoneColonias</i> ; (b) Seleção do sistema e do limiar para o processamento da imagem a ser capturada. Fonte: Próprio autor.	45
3.17	Telas de processamento e monitoramento da imagem da placa de Petri. (a) Processamento (monitoramento) da imagem. (b) Imagem binária da placa de Petri e a apresentação do resultado dos <i>pixels</i> monitorados da imagem. Fonte: Próprio autor.	45
3.18	Ocupação proporcional das colônias em cada placa de Petri obtido pelo sistema proposto com <i>S. cerevisiae</i> nas diluições: 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} e 10^{-2} ml. Foram 20 medições (fases de crescimento das colônias) entre a 9 ^a e 38 ^a hora de incubação. Fonte: Próprio autor.	46
3.19	Gráfico apresentando os erros médios percentuais na repetibilidade entre as medições dos técnicos A e B, e o método proposto no monitoramento de colônias. Foram 20 etapas de medição durante o monitoramento de crescimento de colônias de <i>S. cerevisiae</i> em placa de Petri. Fonte: Próprio autor.	49

3.20	Tempo de medição no método convencional com o paquímetro digital em 20 etapas de medições na placa de Petri. Fonte: Próprio autor.	50
3.21	Comparação de erro de repetibilidade entre o método proposto e o método convencional com o paquímetro digital em relação às dimensões físicas das colônias. Foram 20 etapas de medições na placa de Petri. Fonte: Próprio autor.	51
3.22	Quantidade de <i>pixels</i> brancos em uma imagem em função da variação do valor do limiar aplicado. Fonte: Próprio autor.	53
3.23	Comparação de medição entre as imagens do corpo de prova número 3 no método proposto e o processamento das imagens no PC. Foram 22 imagens processadas. Fonte: Próprio autor.	54
3.24	Comparação de medição das imagens da placa de Petri em diluição 10^{-4} ml de <i>S. cerevisiae</i> entre o método proposto e o processamento das imagens em PC. Foram 20 imagens processadas. Fonte: Próprio autor.	55

Lista de Tabelas

- 3.1 Valores da região percentual ocupada pelas fissuras em três corpos de prova obtidos com a plataforma móvel. Foram 22 etapas de medições em três diferentes corpos de prova. Fonte: Próprio autor. 35
- 3.2 Erro médio percentual na repetibilidade entre as medições realizadas no método convencional (técnico A e B) com a régua graduada, o paquímetro digital, e o sistema proposto na medição de fissuras. Foram 22 etapas durante o monitoramento de fissuras no corpo de prova. Fonte: Próprio autor. 38
- 3.3 Erro percentual na repetibilidade entre as medições realizadas no método convencional, com o técnico A e B utilizando o paquímetro digital e o sistema proposto na medição de colônias. Foram 20 etapas de medição durante o monitoramento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri. Fonte: Próprio autor. 48

Lista de Abreviaturas

ASNT American Society for Nondestructive Testing (Sociedade Americana de Ensaaios Não Destrutivos)

CBIC Câmara Brasileira da Indústria da Construção

F_{max} Limite focal máximo entre o sistema óptico e o objeto em mm

F_{min} Limite focal mínimo entre o sistema óptico e o objeto em mm

FOV Field of Vision (campo de visão da câmera)

FOVH Field of Vision (campo de visão horizontal da câmera)

PC Field of Vision (Computador Pessoal)

PS Pixel Size (tamanho do pixel)

ResH Resolução horizontal da câmera

S. cerevisiae *Saccharomyces cerevisiae*

SS Sensor Size (tamanho do sensor da câmera)

WD Work Distance (distância de trabalho da câmera)

WD_{min} Distância mínima de trabalho da câmera

WD_{max} Distância máxima de trabalho da câmera

1 Introdução

Um procedimento de inspeção pode ser definido como uma verificação para determinar a conformidade de um conjunto ou seus elementos de composição estrutural, comparando as suas especificações (ASNT, 2007). Um método de verificação que utiliza dimensões físicas para avaliar conformidade é a inspeção visual. A inspeção visual é um ensaio não destrutivo (HALMSHAW, 1996) utilizado por diferentes ciências, sendo possível citar a área de engenharia civil e a biotecnologia. Nessas áreas respectivamente, um técnico ou especialista utiliza a inspeção visual para identificar dimensões relacionadas à qualidade de uma estrutura avariada ou comparando a evolução dimensional de um micro-organismo observado. De acordo com o método empregado, a inspeção visual permite identificar alterações dimensionais dispensando métodos de inspeção que utilizam equipamentos automatizados.

A engenharia civil utiliza o recurso da inspeção visual, possibilitando a identificação de alterações dimensionais externas e visíveis nas estruturas em alvenaria. Estas alterações são representadas por deformidades aparentes, como fissuras ou trincas, desalinhamento, cavidades, porosidade e no padrão de acabamento superficial. Fissuras podem ser monitoradas por inspeção visual em vistoria periódica.

A vistoria de fissuras das construções permite observar a estabilidade ou aumento da abertura da fissura, que pode indicar a necessidade de reparos estruturais ou interdição da mesma, ou seja, se a construção em alvenaria é ou não segura do ponto de vista da engenharia civil. Estas decisões podem ser tomadas a partir da mensuração das dimensões da abertura de uma ou mais fissuras, que podem aumentar ou não entre vistorias periódicas.

Em biotecnologia, a inspeção visual é aplicada no acompanhamento do crescimento de micro-organismos, permitindo identificar seu comportamento e taxa de desenvolvimento em ambiente controlado. O estudo da taxa de crescimento de colônias de micro-organismos, por exemplo, permite fornecer dados para avaliar o efeito de antibióticos, inibidores de crescimento, efeito da exposição à radiação, temperatura, pH, composição do meio de cultura, drogas, nutrientes, estresse

fisiológico, entre outros fatores ambientais (LAWLESS et al., 2010). Para as experiências de laboratório em biotecnologia são utilizados recipientes circulares transparentes conhecidos como placas de Petri. Essas placas acondicionam e permitem acompanhar o desenvolvimento de micro-organismos que crescem num meio sólido denominado ágar. Esse meio oferece condições ideais para o desenvolvimento de micro-organismos de maneira consistente e estável em estufa a temperaturas controladas. Na cultura (meio aquoso ou gelatinoso) realizada em placas de Petri, as condições favoráveis ao desenvolvimento dos micro-organismos possibilitam que amostras de leveduras ou bactérias promovam o surgimento e o crescimento de unidades formadoras de colônias, visíveis ao olho humano. Segundo (HELLIER, 2003), para os ensaios visuais dimensionais, aplicam-se os instrumentos manuais de metrologia do tipo analógico ou digital. Os instrumentos digitais apresentam a vantagem da facilidade de visualização dos valores, reduzindo os índices de erros de leitura numa medição convencional. Mesmo com o uso de instrumentos com excelente resolução, esses apresentam a subjetividade no momento do posicionamento manual sobre a região de medição.

1.1 **Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de visão computacional implementado em plataforma móvel (aparelho celular), para o processamento local de imagens durante o monitoramento dimensional de fissuras em alvenaria ou em concreto. Da mesma forma, esse trabalho propõe o monitoramento do crescimento de colônias do micro-organismo *Saccharomyces cerevisiae* em placas de Petri, por meio da comparação de imagens obtidas e processadas a partir da integração de *hardware* e *software* diretamente na plataforma móvel.

Para atingir tal objetivo, este trabalho aplica técnicas de visão computacional e processamento digital de imagem utilizando uma plataforma móvel, um aparelho celular Samsung modelo Omnia WSGH-i677 UG, com processador de 1,4 GHz e 512 MB (RAM) e sistema operacional *Windows Phone 7.5*.

1.2 **Objetivos Específicos**

- . Realizar na plataforma móvel o processamento digital de imagens igualmente executado em PC, comparando os resultados obtidos;
- . Desenvolver suporte próprio para o controle de aquisição de imagem no

monitoramento de fissuras e de colônias de *S. cerevisiae*.

- . Obter os resultados do processamento digital das imagens diretamente no local do monitoramento por meio de análise de imagens portátil na plataforma móvel, comparado ao uso de um PC;

- . Realizar a análise dimensional de fissuras e de colônias de *S. cerevisiae* na imagem monitorada, independente de quantidade, diâmetro e forma irregular encontrada.

- . Detectar pequenas variações dimensionais em fissuras e em colônias de *S. cerevisiae* comparado a utilização dos instrumentos empregados no método de medição convencional.

- . Obter menor erro de repetibilidade nos resultados com a plataforma móvel, comparado ao método de medição convencional.

- . Obter com a plataforma móvel o monitoramento em tempo menor, comparado ao método de medição convencional.

1.3 Justificativa

Com um crescimento nacional aproximado de 42,41% no segmento de construção civil no período de 2004 a 2010, com previsão de expansão entre 4 a 5% para os próximos anos (CBIC, 2011), também cresce a inspeção estrutural das construções em alvenaria e concreto. Nesse contexto é favorável o crescimento por técnicas de análise de fissuras em vistorias periódicas em alvenaria.

De acordo com (ARMS et al., 2004) o monitoramento das condições estruturais em obras de construção civil pode trazer vários benefícios à sociedade, tais como, menor ocorrência de falhas em sistemas e estruturas e conservação de recursos naturais. Dessa forma, a análise de fissuras é um importante item de segurança a ser verificado nas vistorias periódicas de construções em alvenaria (YAMAGUCHI; HASMUTO, 2011).

Com isso, uma contribuição deste trabalho é desenvolver uma ferramenta móvel para a análise dimensional de fissuras em estruturas de alvenaria ou concreto. O propósito é reduzir o trabalho do técnico ou especialista nas vistorias periódicas em alvenaria, produzindo melhores resultados comparado ao método convencional de monitoramento.

Assim como na engenharia civil, a inspeção visual também é utilizada por

um profissional em biotecnologia para acompanhar o desenvolvimento de micro-organismos em placa de Petri.

Grandes diferenças qualitativas em crescimento podem ser facilmente observadas a olho nu, mas medidas quantitativas de crescimento são necessárias para detectar pequenas diferenças de desenvolvimento das colônias de micro-organismos (ADDINALL et al., 2008). Nesse contexto, o estudo da taxa de crescimento de colônias de micro-organismos pode fornecer informações importantes na avaliação microbiológica (LAWLESS et al., 2010).

Com o aumento da presença da biotecnologia na produção alimentícia e principalmente de bioenergia (SASANO et al., 2012), os processos fermentativos têm ocupado cada vez mais importância no desenvolvimento de recursos e de pesquisas neste segmento.

Dessa forma, outra contribuição deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para facilitar o trabalho do profissional em biotecnologia no monitoramento de colônias de micro-organismos em placa de Petri, obtendo resultados com menor erro de repetibilidade e em tempo menor, comparado ao modo convencional de monitoramento.

O método proposto comparado a um sistema de visão computacional tradicional realiza a tarefa de monitoramento, dispensando a estrutura física como cabos de comunicação, conectores, dispositivos de memória/placa de aquisição e um PC, permitindo mobilidade nas análises dimensionais. Por se tratar de um aparelho de telefonia, a plataforma móvel permite também o envio de informações à distância, sem a necessidade de coleta de dados no local.

1.4 Estrutura Do Trabalho

Este trabalho está estruturado em capítulos, e o primeiro é destinado à apresentação, contextualização do estudo, o objetivo geral, objetivos específicos e a justificativa da pesquisa.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica essencial para o desenvolvimento deste trabalho, juntamente com procedimentos de inspeção visual na engenharia civil e biotecnologia. Nesse capítulo é apresentada a revisão da literatura nos procedimentos de inspeção dimensional utilizando visão computacional nessas áreas.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do método proposto utilizando

visão computacional em plataforma móvel. Também neste capítulo é apresentado o processamento digital da imagem, experimentos comparativos, discussão dos resultados e avaliação do método proposto.

Na sequência é apresentada a conclusão do trabalho aplicado à inspeção visual dimensional na engenharia civil e biotecnologia.

Ao final são apresentados no apêndice, os links de acesso público aos artigos submetidos, avaliados, aceitos e apresentados em congressos nacionais, as principais especificações técnicas do sistema de visão e o código fonte utilizado na plataforma móvel.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho e o método de inspeção visual convencional na engenharia civil e em biotecnologia. Também apresenta trabalhos relacionados ao monitoramento de fissuras e colônias de micro-organismos, com um levantamento bibliográfico sobre o assunto e os métodos empregados para o monitoramento por meio da visão computacional.

2.1 Conceito de Imagem

Uma imagem como ilustrada na figura 2.1 pode ser definida como uma função bidimensional $f(x, y)$ em que x e y são coordenadas no plano espacial (plano da imagem). O valor de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é a intensidade de cinza da imagem nesse ponto. Quando x e y e os valores de f são quantidade finitas e discretas, essa é identificada como imagem digital (GONZALEZ; WOODS, 2010).

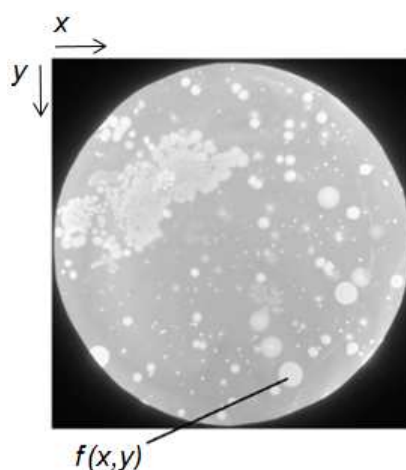


Figura 2.1: Detalhe de um ponto da função $f(x, y)$ representado em uma imagem digital. Fonte:Próprio autor

Uma imagem é constituída de um número determinado de composição. Esses elementos são os *pixels*. A função $f(x, y)$ pode ser caracterizada de acordo com

a iluminação, que representa a quantidade de luminosidade da fonte que incide a cena que está sendo observada, e a refletância, que é a quantidade de iluminação refletida pelos objetos da cena.

O controle de iluminação no momento da captura da imagem dispensa, por exemplo, algoritmos específicos para a correção luminosidade em imagens (MARGUES; VIEIRA, 1999).

2.2 Sistema De Visão Computacional

Sistema de visão computacional é aplicado para tomada de decisões úteis sobre e cenas e objetos físicos reais por meio da detecção e processamento de imagens (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001). Segundo (FORSYTH; PONCE, 2012), a grande capacidade da visão computacional é extrair descrições do mundo a partir de imagens ou sequências de imagens.

Entre as aplicações importantes da visão computacional destaca-se a inspeção de objetos a partir de imagens, determinando sua conformidade comparada a um padrão de especificações (FORSYTH; PONCE, 2012).

Um sistema de processamento digital em visão computacional permite a obtenção de informações a partir de imagens, e pode ser representado como ilustrado na figura 2.2.

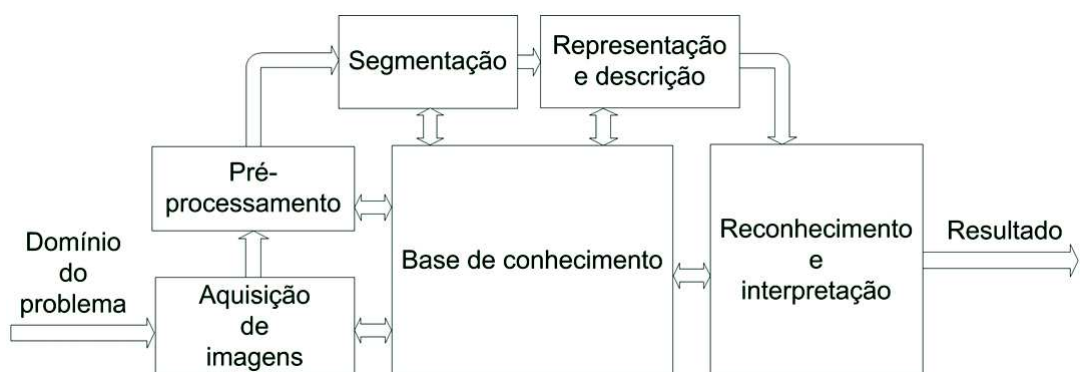


Figura 2.2: Componentes de um sistema de processamento de imagens. Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2000).

De acordo com o diagrama da figura 2.2, o bloco aquisição de imagens representa o dispositivo sensor, responsável pela captura da imagem (GONZALEZ; WOODS, 2000).

O bloco pré-processamento pode envolver técnicas, como por exemplo, a remoção de ruído na imagem. Também neste bloco, pode contemplar a repre-

sentação de um *hardware* com funções de aceleração da velocidade da digitalização da imagem.

No bloco segmentação, a tarefa principal é dividir uma imagem de entrada em partes ou objetos constituintes. A segmentação, por exemplo, pode separar elementos em relação ao fundo da imagem.

Após a segmentação de uma imagem, o conjunto de *pixels* é representado e descrito de forma adequada para o futuro processamento computacional. O bloco representação e descrição na figura 2.2, por exemplo, uma região da imagem pode ser representada pela sua fronteira e esta pode ser descrita por uma seleção de características, como a sua extensão.

A indicação de reconhecimento representa o bloco que atribui um rótulo a um objeto, fundamentado em uma informação de seu descritor (amostra). A interpretação atribui significado a um objeto reconhecido ou conjunto de objetos já rotulados.

O conhecimento sobre o domínio do problema está codificado em um sistema de processamento de imagens na forma de uma base de dados, representado pelo bloco base de conhecimento. Esse orienta a operação de cada módulo de processamento (bloco) controlando a interação e interligando os demais blocos da figura 2.2.

O bloco resultado representa a visualização do final do processamento da imagem, ou até mesmo, a saída de algum dos blocos da figura 2.2 (GONZALEZ; WOODS, 2000). Esse resultado pode ser representado em uma imagem processada ou uma informação obtida a partir da imagem.

Na sequência são apresentados alguns parâmetros utilizados para a captura de imagem em visão computacional e aplicados no presente trabalho.

2.3 Parâmetros Em Visão Computacional

Neste trabalho foram utilizados parâmetros aplicados em visão computacional para a definição dos valores de distância entre a câmera e a região de interesse na região monitorada. Por esta última entende-se as fissuras ou colônias de *S. cerevisiae* nas distintas aplicações, que são identificadas no campo de visão da câmera. O parâmetro campo de visão (*Field of Vision* - FOV), representa a área visível do objeto em estudo identificada pelo sensor da câmera (EDMUND, 2012), e ilustrado na figura 2.3.

Em relação a câmera, o tamanho do sensor de aquisição da imagem (*Sensor Size* - *SS*) é classificado de acordo com sua dimensão horizontal. Como exemplo, no caso do sensor da câmera do aparelho celular utilizado nos experimentos deste trabalho, a dimensão é de 5,08 mm (SAMSUNG, 2013).

O parâmetro distância de trabalho (*Working Distance* - *WD*) representa a distância da região frontal das lentes da câmera até a superfície monitorada (EDMUND, 2012). Esse parâmetro compreende uma faixa de valores máximo (*WDmax*) e mínimo (*WDmin*), interferindo diretamente no campo de visão.

Outro ponto a ser considerado em visão computacional é o limite focal, que compreende uma faixa de valores de distâncias em que o sistema alcança foco sobre o objeto. Dessa forma, o parâmetro é estimado entre o limite focal máximo (*Fmax*) e o limite focal mínimo (*Fmin*), que representa uma distância entre o sistema óptico da câmera e o objeto em (mm), sem perder o foco da imagem (EDMUND, 2012).

Assim, a distância de trabalho pode ser obtida utilizando a equação 2.1 e 2.2.

$$WD_{max} = \frac{(F_{max})x(FOV)}{SS} \quad (2.1)$$

$$WD_{min} = \frac{(F_{min})x(FOV)}{SS} \quad (2.2)$$

De forma similar a instrumentos de medição dimensional que apresentam valores mínimos que pode ser identificados em uma medição, em visão computacional, a resolução indica o tamanho mínimo a ser observado, e é visualizada em número de *pixels*.

A dimensão de um *pixel* em uma imagem pode ser determinado pela equação 2.3, que *PS* (*pixel Size*) é o tamanho do *pixel*, *FOVH* (campo de visão horizontal) da imagem, ambos em microns. O parâmetro (*ResH*) é de acordo com a resolução horizontal da câmera (EDMUND, 2012).

$$PS(\mu m) = \frac{FOVH(\mu m)}{ResH(pixels)} \quad (2.3)$$



Figura 2.3: Representação de uma câmera e sensor, com o parâmetro da distância de trabalho, o campo de visão e resolução. Fonte: Traduzido de (EDMUND, 2012).

Na seqüência são ilustradas imagens que com diferentes distâncias de trabalho. A figura 2.4 (a) apresenta uma imagem obtida com valor acima da WD_{max} . A figura 2.4 (b) apresenta uma imagem obtida com valor abaixo da WD_{min} . A figura 2.4 (c) apresenta uma imagem com a distância de trabalho entre o valor mínimo (WD_{min}) e máximo (WD_{max}), a uma distância de trabalho em concordância com o foco da imagem.

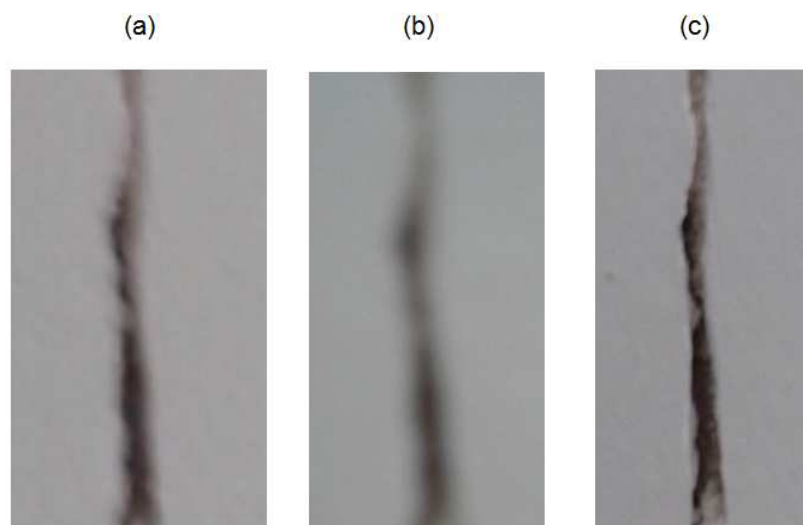


Figura 2.4: Imagem de uma fissura em alvenaria com diferentes distâncias de trabalho. (a) Imagem obtida com valor acima da WD_{max} . (b) Imagem obtida com valor abaixo da WD_{min} . (c) Imagem com a distância de trabalho entre o valor mínimo (WD_{min}) e máximo (WD_{max}). Fonte: Próprio autor.

Para o processamento de informações, por exemplo, o processamento de uma imagem, um conjunto de instruções em linguagem de programação é representado por um *software*, sendo apresentado na sequência.

2.4 Software Para Plataforma Móvel

No desenvolvimento de programas computacionais, conhecidos como aplicativos em plataforma móvel (aparelho celular) são utilizados *softwares* que permitem a criação e compilação de aplicativos em um PC. A execução de aplicativos é realizada em emulador no PC ou diretamente na plataforma móvel.

O tipo da linguagem utilizada na programação depende diretamente do sistema operacional do aparelho celular, como por exemplo, a linguagem de programação *Java* para o sistema *Android* (BINKLEY; PERGA; SYNC, 2012).

O *software* utilizado para o desenvolvimento aplicativos no *Windows Phone* é *Visual Studio*, da empresa *Microsoft* (BINKLEY; PERGA; SYNC, 2012)).

A figura 2.5 ilustra uma tela do *software Visual Studio 2010 Express* para o desenvolvimento de aplicativos para o *Windows Phone*.

Uma das linguagens de programação do *Visual Studio* e utilizada no desenvolvimento de aplicativos para o *Windows Phone* é o *Visual Basic.NET* (CAMERON, 2011). A figura 2.6 ilustra uma tela do *software Visual Studio Express 2012* com linhas de programação em *Visual Basic.NET*.

Quanto ao emulador do *Windows Phone*, esse recurso representa uma máquina virtual que permite aos desenvolvedores criar e realizar testes experimentais nos aplicativos sem um dispositivo físico (CAMERON, 2011). A figura 2.7 ilustra o emulador do *software Visual Studio* na linguagem *Visual Basic.NET*.



Figura 2.5: Tela inicial do software *Visual Studio Express* 2010. Fonte: (BINKLEY; PERGA; SYNC, 2012).



Figura 2.6: Tela do software *Visual Studio Express 2012* com linhas de programação em *Visual Basic.NET*. Fonte: Próprio autor.

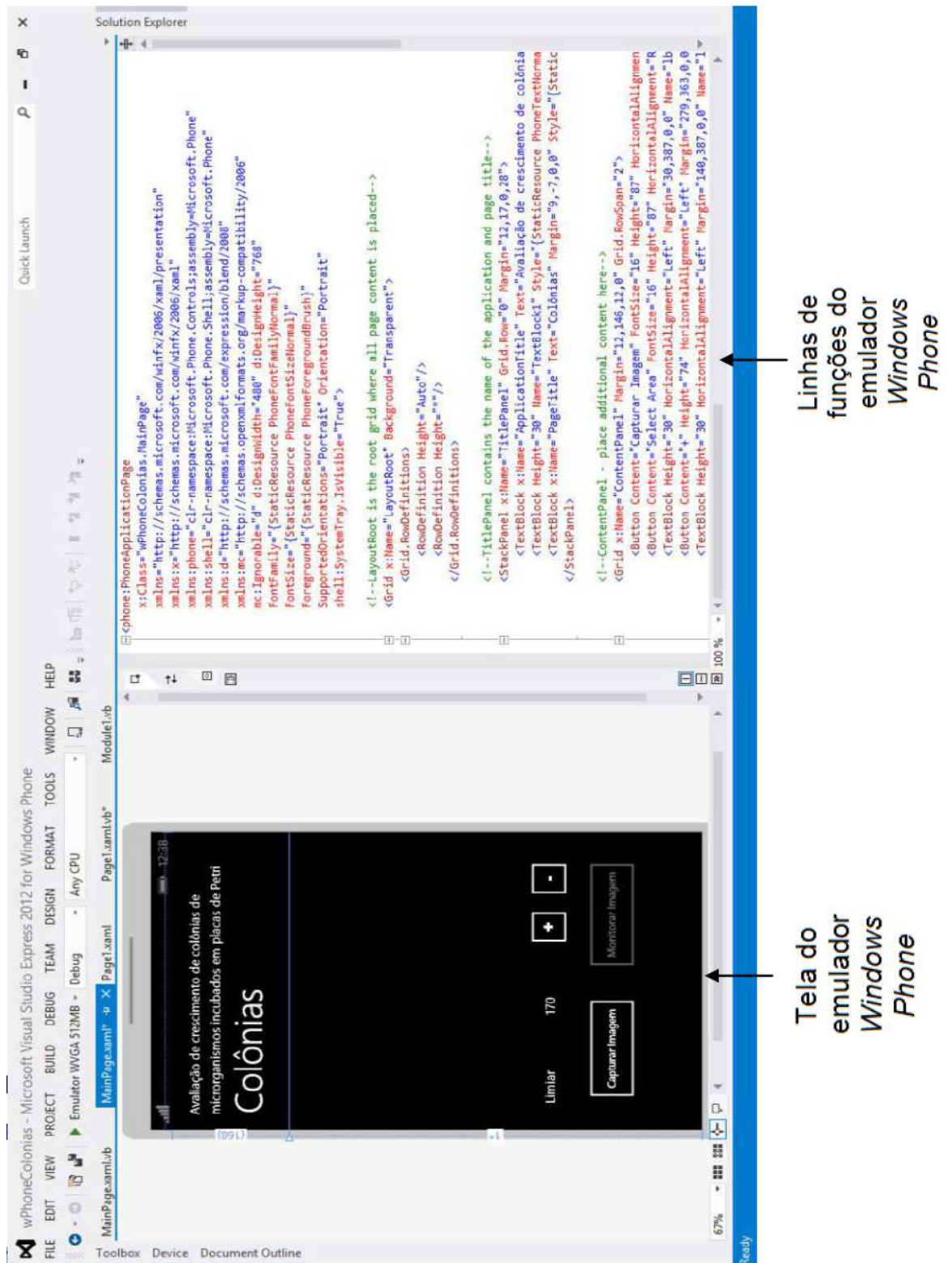


Figura 2.7: Tela do *software Visual Studio Express 2012* com emulador. Detalhe da tela do emulador do *Windows Phone*. Detalhe das respectivas linhas de funções referente à tela do emulador para a plataforma móvel. Fonte: Próprio autor.

2.5 Inspeção Dimensional Utilizando Visão Computacional

Com o uso de *hardware* e *software*, a inspeção visual por computador pode ser realizada em diferentes áreas de atuação, em que os métodos convencionais de inspeção visual apresentam maiores erros e dificuldades na identificação de dimensões ou de características. Desse modo, por exemplo, a inspeção industrial citado por (FORSYTH; PONCE, 2012).

Áreas que utilizam a inspeção com visão computacional, podemos citar a engenharia mecânica (REJC et al., 2011), que realiza a inspeção dimensional para medições de componentes antes da montagem do conjunto. Na inspeção dimensional da região de solda, podemos citar a identificação dimensional de (MARTINS; PIZOLATO JUNIOR, 2011) e no trabalho de (KUMAR; NATARAJAN; ANANTHAN, 2012).

Na análise de superfície, o trabalho de (BIANCONI et al., 2012) classifica diversos tipos de granito, por meio de análise de cor e textura em imagens.

A visão computacional é aplicada na inspeção e identificação de variedade de celulose e papel, superando o método visual convencional em termos de fadiga humana, rendimento e precisão (RAHMAN et al., 2011).

Na inspeção de qualidade, a visão computacional é aplicada, como exemplo, na indústria alimentícia. O trabalho de (ELMASRY et al., 2012) apresenta um sistema de detecção de irregularidades em alimentos in natura, com a classificação em tempo real, obtendo grande desempenho e precisão comparado à classificação manual.

Em relação à inspeção visual dimensional na engenharia civil e biotecnologia, a próxima seção apresenta a inspeção visual convencional e por visão computacional nessas áreas, abordadas com maiores detalhes neste trabalho.

2.6 Inspeção Visual Convencional Na Engenharia Civil

A inspeção visual convencional é realizada por um técnico ou especialista que acompanha o aumento da abertura de fissura ao longo de um período de tempo entre as vistorias, por meio da medição convencional.

A medição convencional da fissura em alvenaria é obtida por um técnico com

um instrumento comparador de fissuras colocado manualmente sobre a estrutura avariada, conforme ilustrado na figura 2.8. Neste caso, o técnico observa no instrumento o traço de medida e o valor da escala em milímetros correspondente à abertura da fissura.

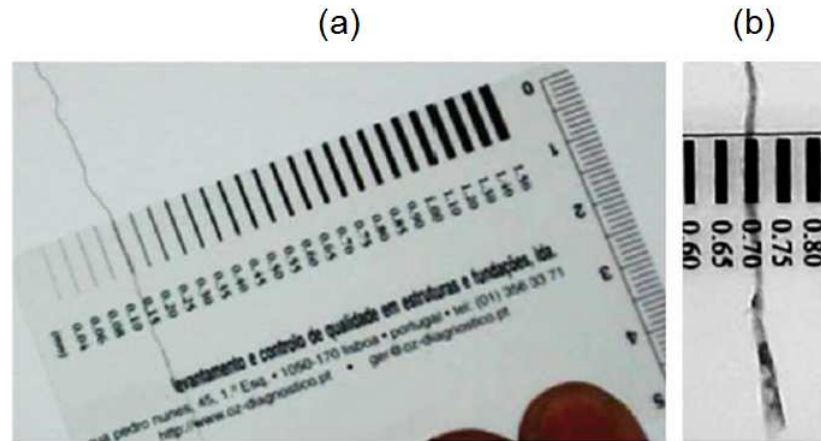


Figura 2.8: Instrumento comparador de fissuras. (a) Comparador durante a medição da abertura de fissura sobre a estrutura em alvenaria avariada. (b) Detalhe da escala do instrumento comparador com a indicação de 0,70mm de abertura de fissura. (a) Fonte: (OZ, 2013). (b) Fonte: Próprio autor.

Um segundo instrumento que permite a caracterização dimensional da abertura de fissura na estrutura em alvenaria e concreto é o uso de um paquímetro digital. Este instrumento ilustrado na figura 2.9 é utilizado em medição convencional da abertura da fissura em alvenaria, e apresenta melhor resolução em relação ao comparador de fissuras.

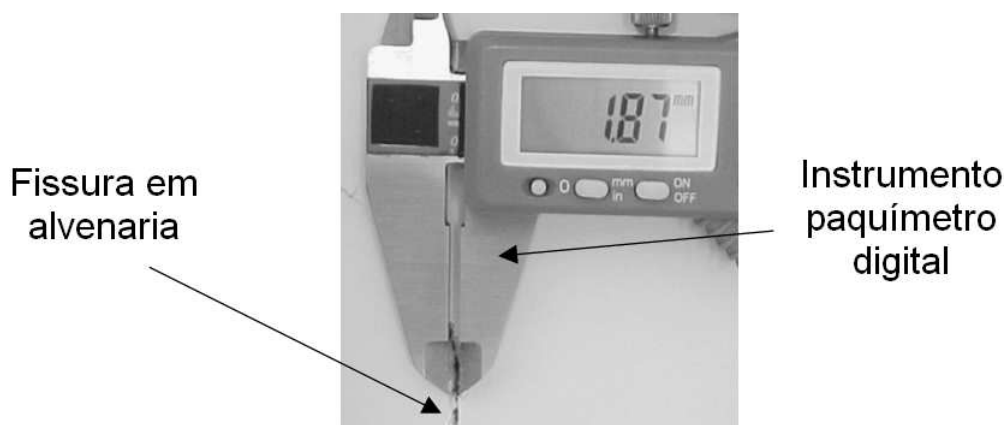


Figura 2.9: Instrumento paquímetro digital em medição convencional da abertura da fissura em alvenaria. A dimensão da fissura é indicada no visor após posicionamento do instrumento sobre a fissura na estrutura avariada.

Fonte: Próprio autor.

O paquímetro digital, por sua vez, apresenta leituras diretamente no mostrador do instrumento, mas apresenta a desvantagem do posicionamento manual do

instrumento sobre a fissura na região avariada.

Em outro procedimento de leitura convencional de fissura em alvenaria, um técnico especialista utiliza um calibrador de lâminas como ilustrado na figura 2.10. Este instrumento possui um conjunto de lâminas com espessuras entre 0,1 e 2,0 mm. Nesse procedimento de medição ilustrado na figura 10, o técnico deve escolher e inserir a lâmina metálica que corresponde à abertura da fissura.

O calibrador de lâminas em particular, apresenta ainda a desvantagem da inserção constante das lâminas de metal na fissura. Além do tempo dispendido na troca de lâminas para a medição, a inserção das lâminas pode levar a degradação da região externa da abertura da fissura, ocasionando medições errôneas e o comprometimento da vistoria. A degradação na abertura da fissura dificulta o processo comparativo, tornando-o mais subjetivo no caso da vistoria periódica se realizar com diferentes técnicos.



Figura 2.10: Calibrador de lâminas para medição da abertura de fissura. Este instrumento numa medição convencional permite uma verificação comparativa entre a abertura da fissura em alvenaria e a espessura da lâmina. Fonte: Próprio autor.

Apesar de comumente utilizados, estes medidores (comparador de fissuras, paquímetro digital e calibrador de lâminas) apresentam como desvantagem a subjetividade no posicionamento manual, durante a medição da abertura da fissura em alvenaria ou concreto. Isso ocasiona a possibilidade de erros durante a medição da fissura, além de baixa repetibilidade da análise.

Outro fator que dificulta o método convencional de medição é o formato irregular das fissuras em alvenaria ou concreto. Além disso, com os instrumentos convencionais citados não é possível detectar rapidamente pequenas variações da fissura devido à resolução e o método empregado. Como resultado, torna-se necessário realizar várias medições para a obtenção de uma medição conclusiva. Nesse método há uma incerteza associada ao manuseio do instrumento pelo

técnico (BARAZZETTI; SCAIONI, 2009). Assim, a medição convencional pode gerar diferentes leituras entre técnicos de inspeção para a mesma região da fissura em alvenaria ou em concreto.

Uma alternativa a estes três instrumentos é o método de monitoramento contínuo em fissuras, com uso de extensômetro mecânico, indicado na figura 2.11, e o extensômetro elétrico na figura 2.12. Nesse método de monitoramento contínuo em fissuras, o instrumento é instalado entre as estruturas avariadas (BARAZZETTI; SCAIONI, 2010), e exige a permanência do mesmo entre as vistorias.



Figura 2.11: Instrumento extensômetro mecânico. Esta ferramenta é instalada entre as estruturas avariadas, permitindo uma leitura de valores da abertura de fissura diretamente no mostrador analógico. Fonte: (MASTRAD, 2012).

O uso de extensômetro no monitoramento em diversas estruturas em alvenaria apresenta como característica o envolvimento de diversos instrumentos utilizados de forma simultânea.

Existem sistemas de monitoramento contínuo de fissuras em estruturas em alvenaria ou concreto, por meio de extensômetros elétricos, em que estes podem ser estruturados por uma rede de comunicação. Uma característica do monitoramento em rede com extensômetros é a quantidade de equipamentos envolvidos na instalação, cabeamento elétrico e manutenção do sistema (HEJLL, 2007).



Figura 2.12: Instrumento extensômetro elétrico instalado em corpo de prova. Este instrumento pode ser instalado na superfície em alvenaria ou corpo de prova, gerando sinal elétrico proporcional à deformação obtida. Fonte: (EPSILON, 2013).

Outra aplicação da inspeção visual é permitir a obtenção de informações de resistência mecânica durante o rompimento em corpos de prova em ensaio de compressão. Nesse ensaio, a inspeção visual de fissuras permite avaliar a resistência dos diferentes compostos de concreto utilizado em diferentes tipos de construções, por meio da análise do início ou o desenvolvimento das fissuras observadas.

2.7 **Trabalhos Relacionados À Insp. Visual De Fissuras Utiliz. Visão Computacional**

Na sequência são apresentados trabalhos que utilizam métodos com suporte de computador na inspeção de fissuras, abordando os métodos empregados para a identificação e monitoramento dimensional de fissuras.

Diversos trabalhos têm proposto a automatização dos processos de identificação e avaliação da taxa de aumento de fissuras em alvenaria ou em concreto. Nestes trabalhos, de forma comum são aplicados métodos para definir o valor do limiar na imagem monitorada. O valor do limiar é utilizado na binarização da imagem e posterior medição da região de fissuras.

No trabalho desenvolvido por (BARAZZETTI; SCAIONI, 2009) e (BARAZZETTI; SCAIONI, 2010) foram utilizadas câmera e técnicas de fotogrametria digital para monitorar fissuras. A região monitorada na presença de fissura apresenta os componentes da imagem R,G,B com diferenças próxima à borda da fissura. O limiar é obtido em uma operação realizando a média entre os componentes R,G,B, e este é aplicado sobre as imagens coloridas. Isso permite a criação de uma imagem binária apenas da fissura. Na sequência do processamento, a região de fissuras é obtida, com a comparação da imagem total.

A identificação do limiar no processamento de imagem para a verificação de fissuras (BERNSTONE; HEYDEN, 2009) é realizado por meio da análise de histograma de tonalidades da imagem. Dessa forma o limiar é determinado manualmente para a respectiva binarização da imagem. Assim, torna-se possível identificar alterações na abertura de fissuras. Como complementação, a distância da abertura da fissura pode ser determinada, por meio de marcações na região monitorada.

Na identificação de limiar com a aplicação de filtros em imagens, as fissuras são identificadas com o processamento desenvolvido por (FUJITA; HAMAMOTO, 2011). Nesse trabalho são aplicadas duas etapas de pré-processamento na imagem

original. Inicialmente é aplicado um filtro mediano na imagem, e em seguida é usado um filtro multi escala com uma matriz Hessiana, para realce das fissuras e sua posterior medição, por comparação com o fundo da imagem.

Também aplicando a filtragem na imagem (NISHIKAWA et al., 2012), um filtro do tipo multi sequencial é utilizado para reduzir consideravelmente o ruído na imagem e detectar com precisão as fissuras. Várias imagens da superfície de concreto avariada são obtidas em diferentes condições de luminosidade. Também são utilizados diferentes filtros para obter as fissuras em comum nessas imagens. A binarização da imagem é obtida com um limiar definido em até a metade da escala de 256 níveis de cinza. No posterior processamento da imagem é obtida a ocupação da fissura na imagem observada.

Na detecção de fissuras com limiar automático, destaca-se (WANG et al., 2012) com a identificação de trincas em imagens onde há um nível de cinza substancialmente diferente do fundo da imagem. A geração da imagem binária é obtida aplicando o método de limiarização de *Otsu* (GONZALEZ; WOODS; EDDINS, 2004), e este método é implementado no *software Matlab*. A contagem de *pixels* da região de fissura é realizada posteriormente comparando-a com os *pixels* de fundo da imagem. Na identificação de fissuras por correlação de imagens (MAUROUX et al., 2012), o aumento dimensional de micro fissuras foi observado com o método de correlação digital de imagem. Esse método baseia-se na comparação de duas imagens com dois níveis de cinza gravados antes e depois de um deslocamento da fissura. A primeira imagem é chamada de 'referência' e segunda de imagem 'deformada'. A correlação consiste em determinar o grau de semelhança (em termos de conservação de fluxo óptico) entre estas duas imagens. A medição da alteração da fissura se dá na diferença entre a quantidade de *pixels* na comparação entre as imagens.

2.8 Inspeção Visual Convencional Em Biotecnologia

A inspeção visual convencional é realizada por um técnico ou especialista que acompanha o crescimento de colônias de micro-organismos a partir da identificação visível a olho nu de uma ou mais colônias incubadas em placa de Petri. Para experiências e avaliações de laboratório são comumente utilizadas as placas de Petri, pois acondicionam e permitem identificar o desenvolvimento de micro-organismos. Em meio de cultura em placa de Petri, as condições favoráveis de

desenvolvimento proporcionam aos micro-organismos presentes o surgimento de unidades formadoras de colônias visíveis ao olho humano (GLAZER; NIKAIDO, 2007).

O monitoramento do crescimento de colônias em placas de Petri é realizado pela medição manual do diâmetro das colônias (LI; WADSO, 2011) ao longo de um período de incubação em estufa e temperatura controlada.

A figura 2.13 ilustra uma placa de Petri utilizada no crescimento típico de micro-organismo aplicado em processos fermentativos, no exemplo a levedura *S. cerevisiae*.



Figura 2.13: Colônias de *S. cerevisiae* em Placa de Petri. Fonte: Próprio autor.

De acordo com a evolução dimensional das colônias de micro-organismos é possível identificar a eficiência de antibióticos (halo de inibição), que é a região de não crescimento bacteriano visualizado em placa de Petri (MACZULAK, 2011). Para (MADIGAN et al., 2012) existem distintas fases no crescimento de micro-organismos formadores de colônias: Fase de latência, na qual os micro-organismos estão em atividade metabólica, mas não refletem em questões dimensionais visíveis; Fase exponencial, na qual ocorre a divisão das células e um aumento exponencial da população; Fase estacionária, na qual ocorre a redução de crescimento e a posteriormente a fase de declínio. Ainda segundo (MADIGAN et al., 2012) a identificação do crescimento de colônias em placa de Petri é fundamental, permitindo identificar a taxa específica de crescimento e o tempo de geração ou de aumento dos micro-organismos, em condições de nutrientes e ambiente controlado.

O monitoramento mais comum para observar o crescimento de colônias de

micro-organismos em placa de Petri é conduzido por um técnico especialista que utiliza um instrumento de medida, como uma escala ou paquímetro, como ilustrado na figura 2.14.

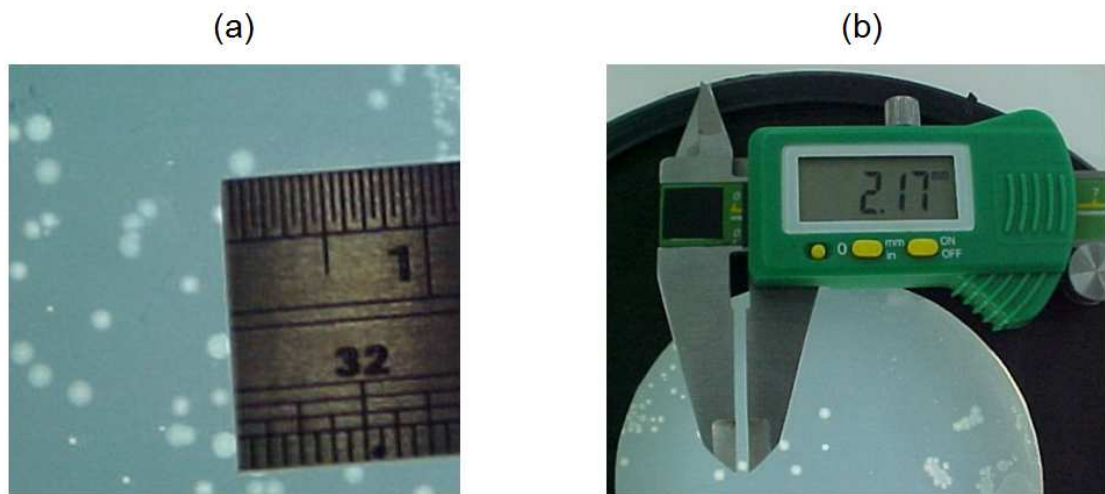


Figura 2.14: Instrumentos de metrologia dimensional em medição convencional de colônia do micro-organismo *S. cerevisiae*. (a) Escala graduada. (b) Instrumento paquímetro digital. Fonte: Próprio autor.

Uma grande dificuldade no método de medição convencional é identificar e medir a grande quantidade de colônias que se formam na placa de Petri, como ilustrado nas figuras 2.13 e 2.14. No procedimento de medição convencional há uma incerteza associada ao manuseio do instrumento pelo técnico (BARAZZETTI; SCAIONI, 2009). Desta forma, o método convencional de medição pode gerar diferentes valores entre técnicos de laboratórios para a mesma região das colônias em uma placa de Petri. Esta inconsistência demanda maior quantidade de repetições nas medições convencionais para produzir valores mais exatos. Muitas vezes tanto a engenharia civil como a biotecnologia aplicam o método de medição convencional, mas os resultados encontrados são obtidos de uma forma muito lenta ou com baixa precisão, dificultando o processo de avaliação com maior exatidão.

2.9 Trabalhos Relacionados À Insp. Visual De Micro-organismos Utiliz. Visão Computacional

Na sequência são apresentados métodos com suporte de computador para o processamento de imagem na inspeção do crescimento de micro-organismos, com um levantamento bibliográfico sobre o assunto e os métodos empregados.

Trabalhos utilizando processamento de imagens permitem a contagem e a ava-

liação da taxa de crescimento de colônias em meio sólido (placas de Petri). Nestes trabalhos são aplicados diferentes métodos para definir o valor do limiar, que é utilizado na binarização e identificação de colônias na imagem, e apresentados a seguir.

Na identificação da densidade de colônias de *S. cerevisiae* (LAWLESS et al., 2010), ocorre a localização desses micro-organismos cultivados em ágar sólido. O monitoramento do crescimento em conjunto de colônias é obtido por meio da conversão de uma imagem colorida para escala de cinza, aplicando operador Sobel para a geração de um mapa gradiente de intensidade. Na sequência é selecionado o limiar manualmente, a partir da verificação do histograma da imagem. Por último é realizada a comparação da quantidade de *pixels* da fissura, com a quantidade total de *pixels* da imagem.

No trabalho de (MERTENS; DERLINDEN; IMPE, 2012) são observados diferentes meios de cultura, e foram definidos diferentes limiares de forma manual para separar o fundo da imagem das colônias de bactérias. O nível de limiar foi determinado pelo menor valor em que colônias de bactérias são distinguidas dos demais ruídos na imagem. Como resultado, a matriz de 0 (de fundo) e 1 (colônias) foi obtida. O processamento de dados foi implementado no *software Matlab*.

Também com a implementação deste programa, (LI; WADSO, 2011) descrevem o comportamento de crescimento de colônias em conjunto com análise de produção de calor do micro-organismo durante seu desenvolvimento. Imagens coloridas foram transformadas em escala de cinza. Diferentes pontos da superfície do ágar foram selecionados para definir a tonalidade de fundo da imagem. Houve nesse trabalho a identificação do início do crescimento de colônias por inspeção visual e definição manual do limiar para a binarização da imagem. Depois de detectada a região de colônias na imagem binária, sua área foi quantificada pela diferença com a região total do ágar na imagem.

Um *software* livre foi desenvolvido para identificar crescimento de colônias de *S. cerevisiae* (DITTMAR J; REID R; ROTHSTEIN, 2010), também utilizando a forma manual para definir o valor do limiar na imagem. O parâmetro é aplicado para separar as colônias dos ruídos do fundo da imagem. Este valor também foi aplicado para considerar as colônias como *pixels* brancos e o fundo da imagem como *pixels* pretos. Os *pixels* considerados como colônias na imagem binária são subtraídos do fundo da imagem.

Com determinação do limiar automático baseado na intensidade da auto-fluorescência em imagens, (LONDON et al., 2010) explorou em imagens digitais

a detecção do surgimento de micro colônias em meio sólido, gerações antes de elas tornarem-se visíveis ao olho humano. Nesse trabalho utilizou-se a correção de fundo da imagem para a separação dos conjuntos de *pixels* com intensidades próximas, classificados como micro colônias. A análise morfológica é usada para monitorar seu tamanho e quantidade.

Na detecção de colônias de bactérias, a utilização de um classificador baseado na segmentação de *Watershed* (LUC; PIERRE, 1991) foi aplicado para detectar e separar os aglomerados de colônias. O algoritmo desenvolvido permitiu a contagem e a distinção de diferentes espécies de colônias de bactérias por meio da limiarização automática de (OTSU, 1979), onde as bactérias foram detectadas de acordo com diferenças de tonalidade das colônias (CHEN; ZHANG, 2009).

Numa outra versão mais recente no trabalho de (WETHEROW et al., 2010) foi implementada a identificação do crescimento de colônias de *S. cerevisiae*, desenvolvido no *software* livre *Octave*. Entre as melhorias deste método, foi identificado maior número de tipo de placas das colônias e foi possível utilizar placas com iluminação de fundo. Nesse trabalho, para o isolamento placa e as colônias foi utilizado o método de *Otsu*, para determinar do valor do limiar de imagem. O método de *Otsu* pressupõe que a imagem contém duas classes de *pixels*, e determina um limiar que minimiza a variância intraclasse, que também maximiza a variância interclasse, sendo essas classes, as colônias e o ágar de fundo.

Também utilizando o método automático de detecção de limiar (BRUGGER S et al., 2012), a imagem é pré-processada com um filtro *Top-Hat* para a obtenção de um fundo de imagem homogêneo. A imagem depois é verificada utilizando um limiar automático com base no método de *Otsu*. Um limiar adaptável é aplicado na imagem, e este é usado para cada *pixel*, obtido com base em *pixels* vizinhos. Como complemento a identificação das colônias, um classificador de Bayes é aplicado para contar o número final de colônias bacterianas, fundamentado em propriedades geométricas das colônias.

Assim como os trabalhos relacionados à visão computacional para a inspeção dimensional, o sistema de visão computacional deste presente trabalho detalha algumas especificidades, neste caso, para a versatilidade na dupla aplicação proposta (monitoramento de fissuras e de micro-organismos). As especificidades são desde o desenvolvimento de um aparato de controle de distância e de luminosidade para a captura da imagem (sistema de aquisição) em cada aplicação, até o processamento e apresentação do resultado diretamente na plataforma móvel.

De acordo com da fundamentação teórica apresentada nesse capítulo, na

sequência é descrito o desenvolvimento do método proposto deste trabalho.

3 Desenvolvimento do Método Proposto

Neste capítulo apresenta o desenvolvimento do método proposto aplicado na identificação de fissuras na engenharia civil, e a identificação de colônias do micro-organismo *S. cerevisiae* na placa de Petri em biotecnologia.

3.1 Método Proposto No Monitoramento Dimensional Utilizando Visão Computacional

O objetivo do método proposto é obter em distintas imagens da estrutura avariada o índice percentual de *pixels* pretos, esses representados por uma ou mais fissuras observadas. Da mesma forma, identificar em distintas imagens da placa de Petri os *pixels* brancos, esses representados por colônias de micro-organismos (*S. cerevisiae*). A figura 3.1 ilustra o diagrama em blocos do sistema de visão para o monitoramento dimensional na plataforma móvel.

A entrada do método proposto (bloco 1 da figura 3.1) corresponde a região de monitoramento. A região de monitoramento no presente trabalho é representada por uma estrutura em alvenaria ou concreto com fissura, como ilustrado na figura 3.2 (a) (estrutura em alvenaria), ou de uma placa de Petri com colônias de *S. cerevisiae* na figura 3.2 (b).

O bloco 2 da figura 3.1 representa a captura de uma imagem da região de monitoramento utilizando o aparelho celular, e esta imagem é processada digitalmente no bloco 3.

O resultado do processamento digital (figura 3.1), cujo algoritmo será detalhado na próxima seção (3.2) consiste na identificação dos *pixels* que representam toda a região monitorada e também a região de interesse na imagem monitorada (fissuras ou colônias).

O bloco 4 da figura 3.1 tem como função calcular o índice percentual de

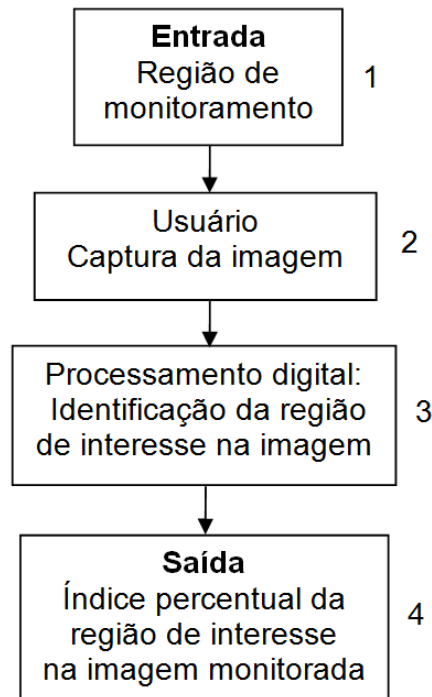


Figura 3.1: Diagrama em blocos do sistema de visão proposto. Fonte: Próprio autor.

ocupação de fissura na imagem monitorada, ou o índice percentual de ocupação de colônias do micro-organismo *S. cerevisiae* em placa de Petri.

3.2 Processamento Digital Da Imagem Em Plataforma Móvel

Esse trabalho fundamenta-se na aplicação do processamento digital no domínio espacial da imagem em um aparelho celular. Como resultado, o algoritmo implementado trabalha diretamente nos *pixels* em imagens previamente convertidas para uma matriz binária. A figura 3.3 ilustra o diagrama em blocos do processamento da imagem realizado na plataforma móvel. O processamento digital proposto é realizado no plano espacial da imagem obtida da estrutura em alvenaria ou em concreto, e também das colônias de micro-organismos em placa de Petri.

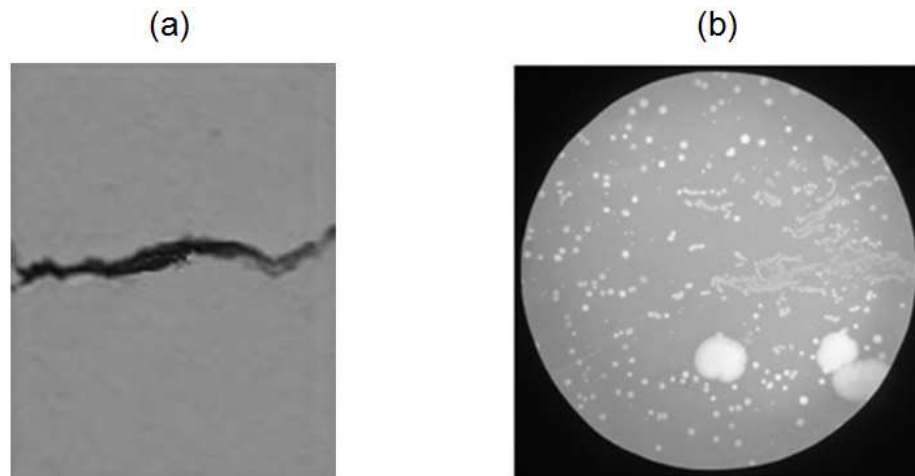


Figura 3.2: Imagem da estrutura em alvenaria com fissura e imagem de uma placa de Petri com colônias de *S. cerevisiae*. (a) Imagem de fissura em alvenaria representada em escala com 256 níveis de cinza. (b) Imagem de uma placa de Petri com colônias de *S. cerevisiae* em na escala com 256 níveis de cinza. Fonte: Próprio autor.

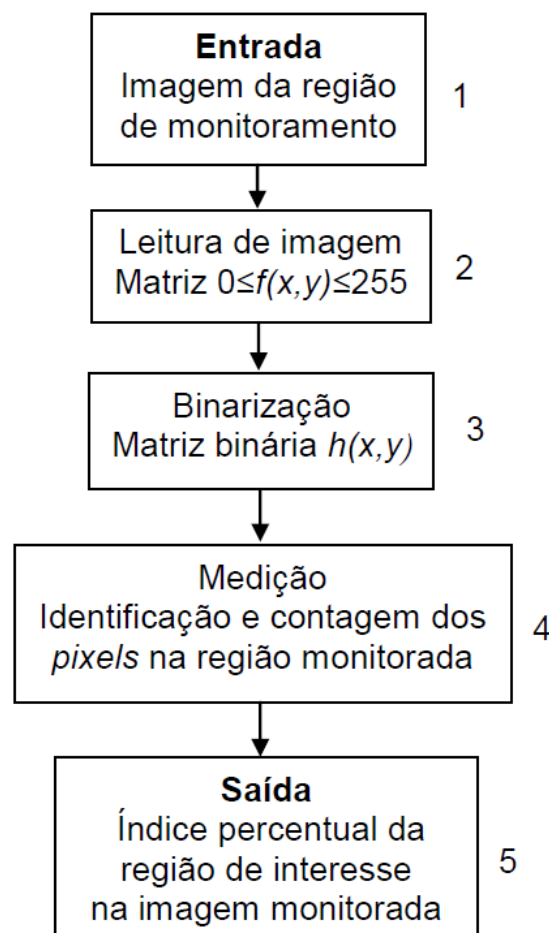


Figura 3.3: Diagrama em blocos do processamento digital da imagem no sistema de monitoramento proposto. Fonte: Próprio autor.

O bloco 1 da figura 3.3 representa a região de monitoramento obtida no sistema de aquisição da imagem. A região de monitoramento é a estrutura em

concreto ou em alvenaria com fissura na figura 3.2 (a), ou também as colônias de *S. cerevisiae*, ilustrada anteriormente na figura 3.2 (b).

No bloco 2 do diagrama em blocos da figura 3.3, a imagem com 256 níveis de cinza da figura 3.2 é representada na forma matricial pela função $f(x, y)$, sendo que x e y representam, respectivamente, as coordenadas de linha e de coluna de cada posição do *pixel*.

A função do bloco 3 da figura 3.3 é implementar o processo de binarização da matriz $f(x, y)$. No caso, foi aplicada a técnica de segmentação da imagem por limiarização como descrito pela equação 3.1 (GONZALEZ; WOODS, 2010).

$$h(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > L \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq L \end{cases} \quad (3.1)$$

$$h(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) < L \\ 0 & \text{se } f(x, y) \geq L \end{cases} \quad (3.2)$$

No método proposto o valor do limiar L da imagem na equação 3.1 é ajustado pelo usuário no início do processo de detecção de colônias de microorganismos em placa de Petri, e deve ser utilizado até o final das etapas de monitoramento. A equação 3.2 é utilizada para a binarização da matriz $f(x, y)$ no monitoramento de fissuras em alvenaria e concreto. O valor do limiar L é também ajustado pelo usuário no início da detecção de fissuras em alvenaria e concreto, permanecendo constante em todas as etapas de monitoramento.

O valor do limiar é determinado visando identificar o início do surgimento de fissura em razão da tonalidade da estrutura em alvenaria ou concreto. Da mesma forma, no monitoramento de micro-organismos o limiar é determinado pelo usuário do aparelho celular identificando o início do surgimento das colônias em razão do contraste do ágar aplicado na placa de Petri. O valor constante do limiar é aplicado nas demais medições a serem realizadas.

Da mesma forma que os trabalhos de (BERNSTONE; HEYDEN, 2009), (MERTENS; DERLINDEN; IMPE, 2012) a escolha do limiar de forma manual permite que a região de interesse seja separada de interferências características do fundo da imagem, ou a ausência de forma na região de interesse (fissura ou colônias).

A figura 3.4 (a) ilustra uma imagem original de fissura em alvenaria. A figura (b) ilustra uma imagem processada com o valor do limiar ajustado em 145, mantendo de forma adequada as características iniciais da fissura (região superior

da figura 3.4 (b)).

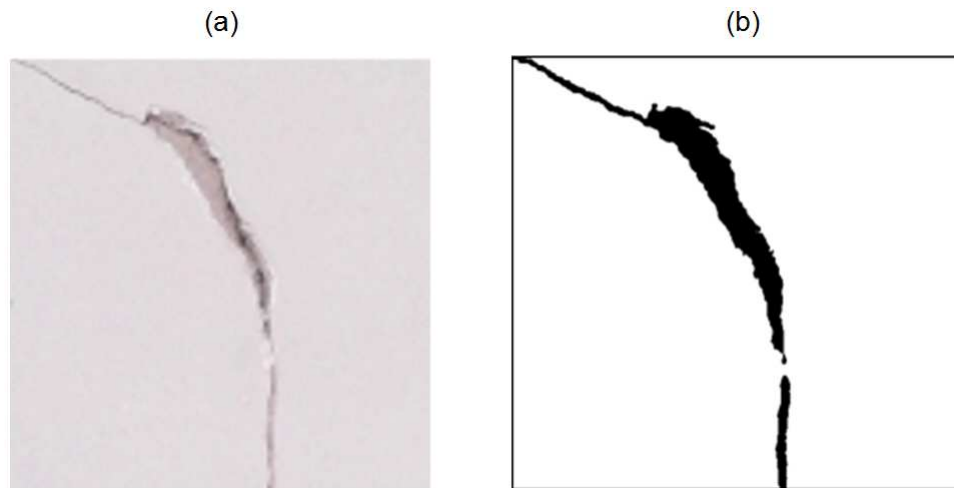


Figura 3.4: Imagem original e binária da fissura em alvenaria. (a) Imagem de uma fissura em alvenaria. (b) Imagem binária da fissura em alvenaria aplicando o valor de limiar 145. Fonte: Próprio autor.

A figura 3.5(a) ilustra uma imagem da fissura em alvenaria com limiar em 154, adicionando características do fundo na imagem processada. A figura (b) ilustra uma imagem processada com o valor do limiar ajustado em 138, perdendo características da fissura ao longo da imagem.

O valor constante do limiar L na equação 3.1 e 3.2 são utilizados para manter a identificação regular dos *pixels* considerados como colônias ou fissuras em distintas aplicações, durante todo o monitoramento proposto.

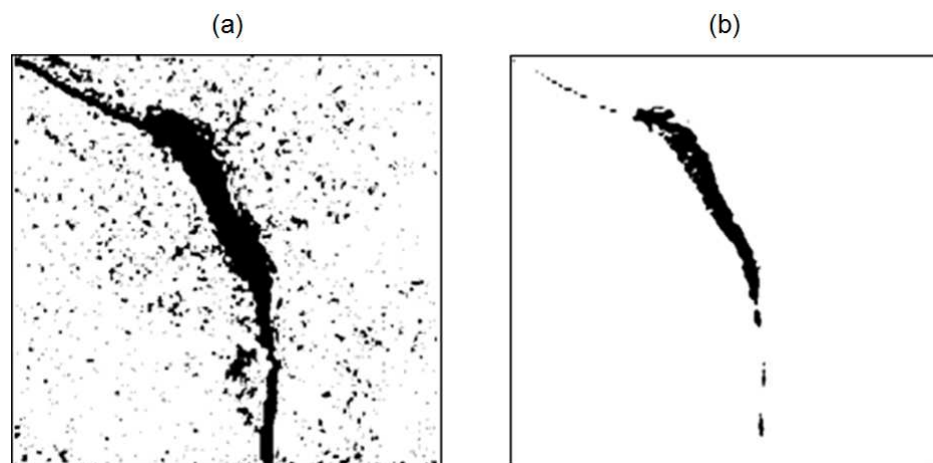


Figura 3.5: Imagem binária da fissura em alvenaria com diferentes limiares. (a) Imagem binária de uma fissura em alvenaria com valor do limiar em 154, apresentando características do fundo da imagem. (b) Imagem binária de fissura em alvenaria aplicando o valor de limiar 138, perdendo forma na fissura. Fonte: Próprio autor.

A figura 3.6 ilustra a imagem binária de fissura e de colônias resultante do

processo realizado pelo bloco 3.

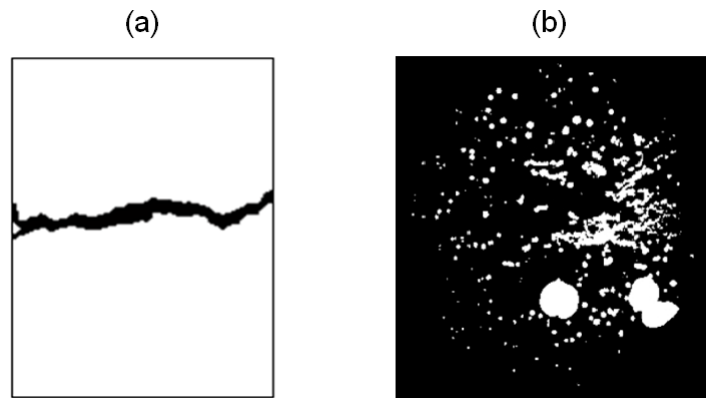


Figura 3.6: (a) Imagem binária de uma fissura em alvenaria com os *pixels* brancos representando o fundo e os *pixels* pretos indicando a fissura. (b) Imagem da placa de Petri, com os *pixels* brancos indicando as colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri, e os *pixels* pretos o fundo da imagem. Fonte: Próprio autor.

A medição da quantidade de *pixels* é realizada pelo bloco 4 da figura 3.3, e implementa a equação 3.3. N e M representam a quantidade de linhas e colunas na imagem, e Q a quantidade dos *pixels* de interesse na imagem.

$$Q = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M h(n, m) \quad (3.3)$$

Finalmente o bloco 5 da figura 3.3 (saída) representa o percentual da região ocupada de fissura ou de colônias de *S. cerevisiae* na imagem de entrada. Esse percentual é obtido em comparação entre a quantidade de *pixels* de fissura e a quantidade de *pixels* total da imagem. Essa comparação de *pixels* é realizada independente da abertura, comprimento e índice (quantidade) das fissuras encontradas na imagem de entrada. Da mesma forma é calculado o percentual de ocupação das colônias de micro-organismos na imagem monitorada.

No método proposto o resultado final é independente da quantidade, distribuição espacial e da área ocupada pelas colônias na placa de Petri. A quantidade de *pixels* ocupados pelas colônias na placa de Petri é comparada com a quantidade de *pixels* total da imagem.

A informação de saída do algoritmo de processamento que corresponde ao percentual de ocupação de fissura na estrutura em alvenaria e de colônias em placa de Petri é exibida diretamente na tela do aparelho celular.

3.3 Experimentos Comparativos e Discussão Dos Resultados

Na sequência são apresentados experimentos comparativos, os resultados e breve análise. Esses foram obtidos a partir do método proposto, contra os resultados no método convencional de medição. Ao final do capítulo são apresentadas as discussões dos resultados.

3.3.1 Experimento Comparativo No Monitoramento De Fissuras Em Concreto

No monitoramento de fissuras é necessário preparar a superfície em alvenaria ou em concreto. A preparação consiste em adicionar tinta acrílica cor branca sobre a superfície da região monitorada, para obter um contraste em relação à fissura.

O método proposto é sensível a deslocamentos laterais e de distância do aparelho celular em relação à estrutura com fissura a ser monitorada. Desta forma foi desenvolvido um sistema de aquisição de imagem com uma base suporte, permitindo o posicionamento constante da câmera fotográfica do aparelho celular. Assim, o aparelho celular permanece alinhado em relação à estrutura monitorada entre as vistorias periódicas, e é ilustrado na figura 3.7 (a) e (b).

De forma complementar na preparação é necessário fixar o guia direcional acima da estrutura monitorada. O guia direcional permite posicionar e alinhar a base suporte, além de manter constante a distância do sistema de aquisição da imagem em relação à estrutura monitorada, e ilustrado na figura 3.7 (b). Pode ser adicionado dois guias na estrutura em alvenaria, para evitar maiores deslocamentos laterais da base suporte.

No monitoramento de fissuras, o campo de visão de 220 mm foi utilizado de acordo com a dimensão do corpo de prova dos experimentos de monitoramento de fissuras, e o tubo de proteção do sistema de aquisição da imagem. A distância focal ficou entre 6,4 mm a 3,8 mm dentro do sistema de aquisição da imagem desenvolvido.

A distância de trabalho máxima e mínima foi obtida nas respectivas equações 2.1 e 2.1, a partir do tamanho do sensor de aquisição da câmera do aparelho celular, de 5,08 mm (SAMSUNG, 2013).

$$WD_{max} = \frac{(6,4)x(220)}{5,08}$$

$$WD_{min} = \frac{(3,8) \times (220)}{5,08}$$

Assim constatou-se de que WD_{min} neste caso é de 165 mm, para um campo de visão de 220 mm, que representa o diâmetro da base suporte. A distância máxima de trabalho (WD_{max}) foi de aproximadamente 277 mm. A distância de trabalho intermediária e aplicada no sistema de visão para o monitoramento de fissuras, foi de 200 mm. A figura 3.7 ilustra o sistema de aquisição proposto que utiliza o aparelho celular na obtenção e processamento da imagem de fissura em alvenaria.

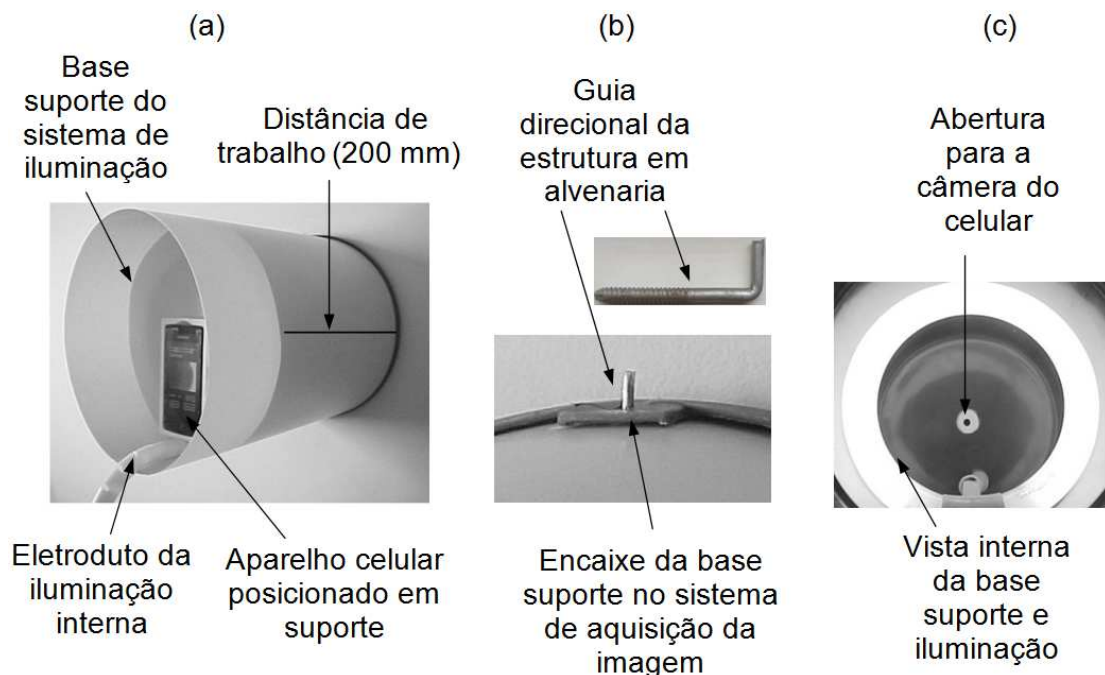


Figura 3.7: Sistema de aquisição de imagem do sistema de visão proposto para o monitoramento de fissuras. (a). Aparelho celular posicionado na base e suporte sobre uma estrutura em alvenaria. Neste caso foi ajustada uma distância de trabalho em 200 mm entre a câmera do aparelho celular e a estrutura em alvenaria. (b). Guia direcional da estrutura em alvenaria colocado na base suporte do sistema de aquisição de imagem proposto. (c). Vista interna da base suporte e o detalhe da abertura para a câmera do aparelho celular localizado atrás da iluminação. Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado na figura 3.7, o aparelho celular pode ser removido do sistema de aquisição para continuar sendo utilizado nas aplicações habituais de comunicação.

Outra característica do sistema de aquisição é o instrumento de iluminação com uma lâmpada direcionada à região da fissura, conforme ilustrado na figura 3.7 (c). O sistema de iluminação implementado tem por objetivo evitar interferências de luminosidade, como por exemplo, a alteração de luz ambiente, sombras ou

reflexos durante o processo de captura da imagem. O sistema de iluminação evita maiores erros na repetibilidade de leitura do método proposto. Na figura 3.7 (c) é possível observar os detalhes do dispositivo de iluminação circular posicionado no sistema de aquisição de imagem.

A avaliação do desempenho e da eficiência do sistema proposto foi conduzida por meio de comparações entre medições registradas pelo aparelho celular e aquelas provenientes do método convencional, em diferentes aberturas de fissuras. As comparações entre o método proposto e o convencional foram realizadas em corpo de prova de concreto em formato padrão, numa máquina de ensaio de compressão.

O método sugerido pode ser aplicado em estruturas em alvenaria (alvenaria estrutural ou de fechamento) e também em concreto. Neste caso, o sistema de aquisição da imagem foi ajustado para a região de monitoramento do corpo de prova cilíndrico.

O objetivo do experimento com corpo de prova e máquina de ensaio foi obter fissuras para análise dimensional de maneira mais rápida, comparado com a coleta na vistoria em alvenaria. Diferentes tipos e composições do corpo de prova podem ser utilizados, uma vez que os experimentos desconsideraram as características mecânicas do corpo de prova. A figura 3.8 ilustra um corpo de prova na máquina de ensaio de compressão.

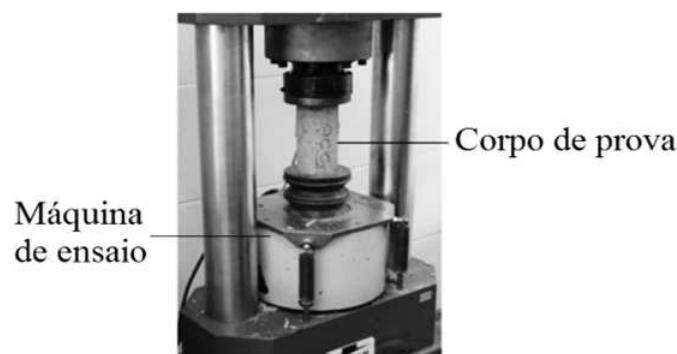


Figura 3.8: Máquina de ensaio utilizada na engenharia civil para verificar comportamento e resistência à compressão em corpo de prova. Fonte: Próprio autor.

O experimento com a máquina de ensaio foi realizado utilizando seis corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de comprimento e faces perpendiculares. No experimento foram aproveitados três corpos de prova que apresentaram as maiores fissuras voltadas à região frontal da máquina de ensaio. Os corpos de prova foram escolhidos visando facilitar a

medição pelo método convencional e o posicionamento do sistema de aquisição para a captura de imagem no método proposto.

Após a ruptura inicial do corpo de prova, aplicou-se gradativamente um avanço do eixo de compressão da máquina de ensaio, o qual promoveu aumentos proporcionais e observáveis de fissuras no corpo de prova. Um experimento com diferentes corpos de prova foi realizado. Os valores do método proposto que resultaram a tabela 3.1 a seguir, foram coletados, processados e apresentados diretamente na tela do aparelho celular ao usuário.

Tabela 3.1: Valores da região percentual ocupada pelas fissuras em três corpos de prova obtidos com a plataforma móvel. Foram 22 etapas de medições em três diferentes corpos de prova. Fonte: Próprio autor.

N° da etapa de medição	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Corpo de Prova 3
	Ocupação das fissuras em (%)	Ocupação das fissuras em (%)	Ocupação das fissuras em (%)
1	1,4	2,5	1,1
2	1,6	2,7	1,4
3	2	3,2	1,7
4	2,4	4,1	2,3
5	2,6	4,9	2,9
6	2,9	5,7	3,5
7	3,4	6,7	4,1
8	3,9	7,5	4,9
9	4,5	9,2	5,9
10	4,9	13	6,8
11	5,2	14,9	9,1
12	5,8	16,3	13,6
13	6,7	17,4	16,3
14	7,7	17,9	18,5
15	10,2	18,4	19,7
16	11,3	19,1	21,1
17	12,1	19,6	22,7
18	12,8	20,6	24,1
19	13,9	21,6	26
20	16,1	23,1	28
21	19,8	25,1	31,1
22	24,4	28,4	38,2

A figura 3.9 apresenta as telas de leitura reais do aparelho celular no método proposto.

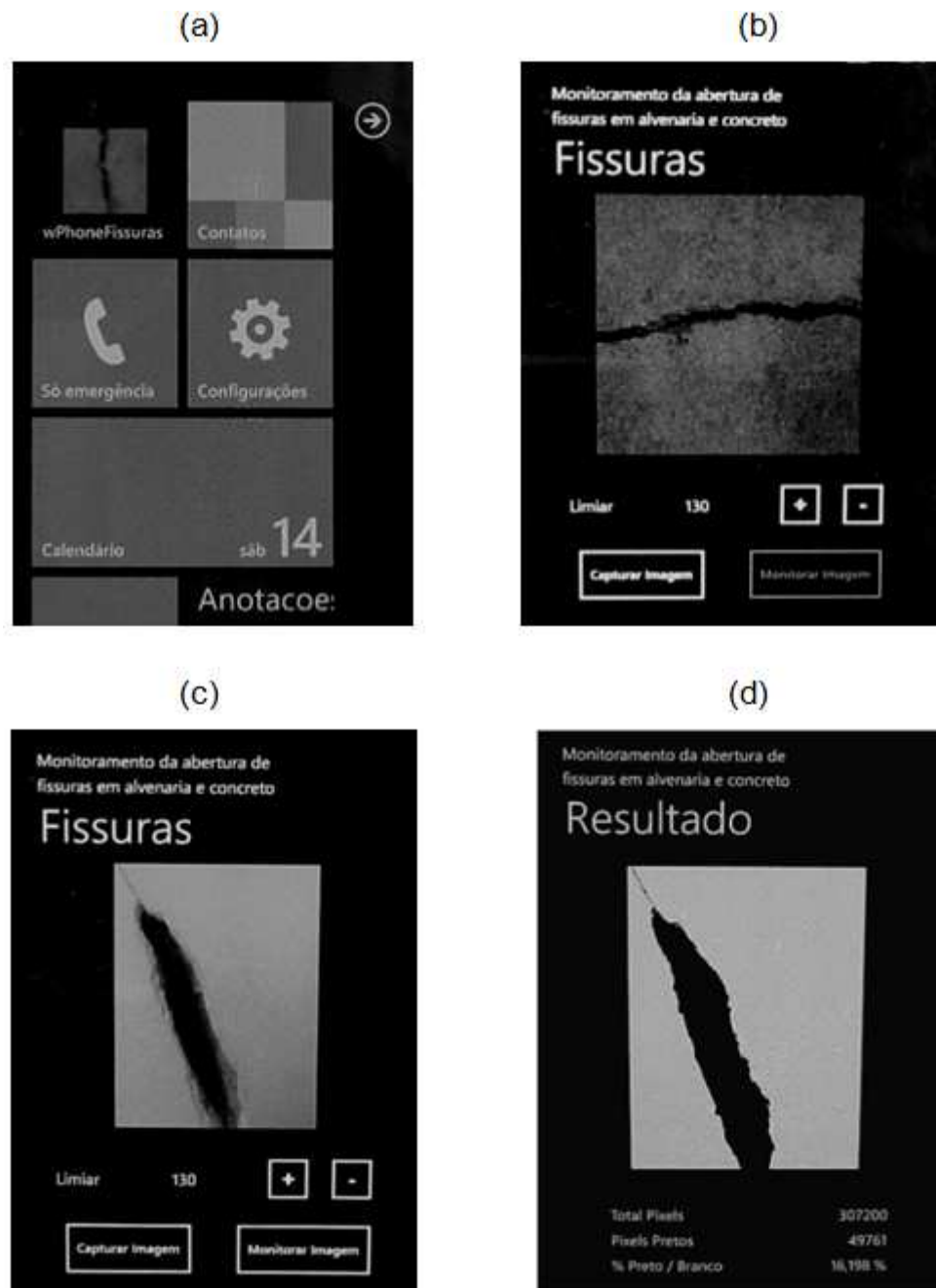


Figura 3.9: Processamento de uma imagem de fissuras no aparelho celular com o sistema *Windows Phone*: (a) Seleção do sistema de captura de imagem a ser processada (wPhoneFissuras); (b) Seleção do sistema (tela inicial) e do limiar para o processamento da imagem a ser capturada; (c) Processamento (monitoramento) da imagem capturada; (d) Imagem binária da fissura e a apresentação do resultado dos *pixels* monitorados da imagem. Fonte: Próprio autor.

A figura 3.9 (c) apresenta uma imagem capturada da estrutura em alvenaria com diferentes dimensões na abertura de fissura. A figura 23 (d) apresenta a imagem binária com o resultado total de 307200 *pixels* e 16,198% de ocupação de fissura (*pixels* pretos) na imagem monitorada. Independente do comprimento, índice e dimensão de abertura, todas as fissuras visíveis a olho nu foram proces-

sadas pelo método proposto.

A figura 3.10 apresenta uma ilustração gráfica externa ao aparelho celular com as taxas de aumento das aberturas de fissuras registradas apenas pelo sistema proposto em três diferentes corpos de prova. Os dados desse gráfico foram gerados a partir da tabela 3.1.

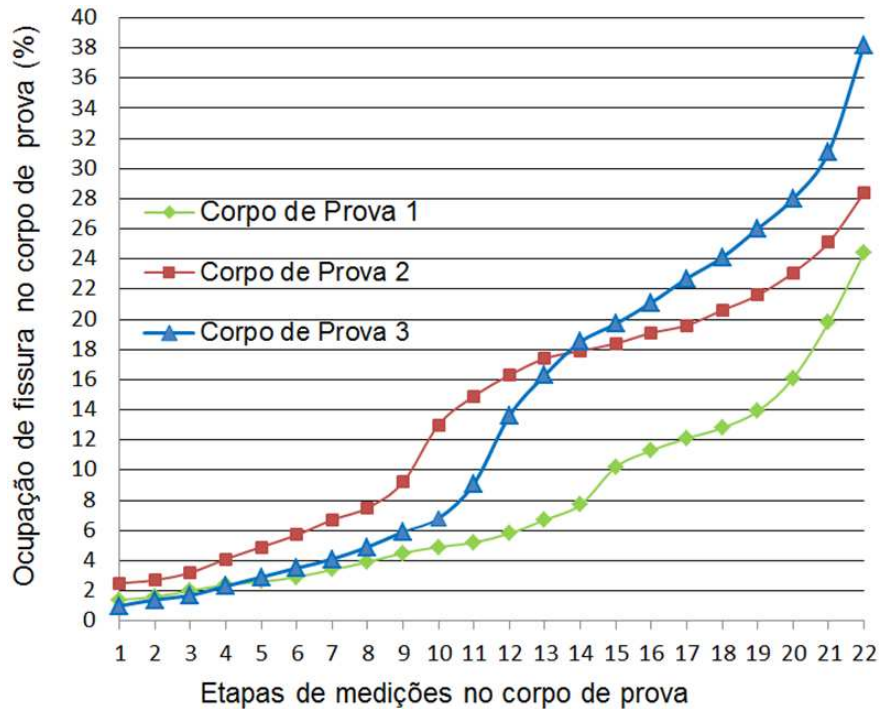


Figura 3.10: Gráfico com os valores da região percentual ocupada pelas fissuras em três corpos de prova obtidos com a plataforma móvel em 22 etapas de medições. Fonte: Próprio autor.

Os valores das medições foram obtidos em 22 etapas de aplicação de avanço do eixo de compressão da máquina de ensaio. As medições foram realizadas nos três corpos de prova após o surgimento da primeira fissura.

Um experimento de comparação também foi realizado em 22 etapas de medição. Cada técnico (A e B) realizou duas medições. O método proposto foi submetido às mesmas condições de monitoramento, com a realização de quatro medições em cada etapa.

As medições convencionais da abertura de fissura foram realizadas utilizando inicialmente uma escala graduada com resolução de 0,5 mm. Devido à baixa resolução desta escala, outras medições convencionais foram realizadas utilizando um paquímetro digital de 0,01 mm de resolução.

Em comparação a resolução utilizada no instrumento convencional, a obtenção das imagens durante o teste comparativo, a câmera do aparelho celular foi configurada na resolução de 2560 x 1920 *pixels*. No método proposto é reali-

zada a leitura da região de monitoramento em 220 mm com resolução aproximada de 0,1146 mm ou 114,6 microns, obtido a partir da equação 2.3. Testes foram realizados também com a resolução de 640 x 480 *pixels*.

$$PS(\mu m) = \frac{220000(\mu m)}{1920(pixels)}$$

A tabela 3.2 apresenta uma análise comparativa entre medidas apresentadas pelo uso de uma escala graduada, um paquímetro digital e o método de visão computacional. Devido às diferenças entre o método proposto e as medidas obtidas com o uso de uma escala graduada analógica (7,56 a 34,1%), os valores adotados como referências no método convencional foram obtidos com um paquímetro digital, com variações de medida entre 4,2 a 4,91%.

Tabela 3.2: Erro médio percentual na repetibilidade entre as medições realizadas no método convencional (técnico A e B) com a régua graduada, o paquímetro digital, e o sistema proposto na medição de fissuras. Foram 22 etapas durante o monitoramento de fissuras no corpo de prova. Fonte: Próprio autor.

N° da etapa de medição no monitoramento no corpo de prova n° 3	Erro médio percentual (Técnico A e B) na repetibilidade entre duas medições com a escala graduada	Erro médio percentual (Técnico A e B) na repetibilidade entre duas medições com o paquímetro digital	Sistema proposto Erro médio percentual na repetibilidade entre quatro medições
1	34,1	4,7	0,4
2	32,14	4,6	0,41
3	26,31	4,55	0,45
4	34,78	4,48	0,43
5	34,48	4,47	0,48
6	31,42	4,39	0,52
7	21,95	4,28	0,55
8	18,36	4,2	0,57
9	23,72	4,31	0,54
10	20,58	4,36	0,61
11	21,97	4,45	0,62
12	16,91	4,51	0,62
13	25,15	4,6	0,66
14	7,56	4,65	0,65
15	10,65	4,71	0,68
16	13,27	4,73	0,65
17	12,77	4,75	0,65
18	17,42	4,77	0,64
19	13,07	4,81	0,67
20	11,42	4,87	0,66
21	10,28	4,91	0,73
22	9,42	4,9	0,77

As demais análises de resultados desta subseção (3.3.1) referem-se ao corpo de prova número 3. Esse corpo de prova foi escolhido devido melhor posição visual das aberturas de fissuras dispostas na máquina de ensaio, pois o corpo de prova não é retirado após o início do ensaio de compressão. Outro fator foi melhorar a

comparação do método proposto contra o método convencional, devido a maior amplitude da abertura das fissuras observadas.

Os técnicos que realizaram o monitoramento no método convencional receberam orientações referentes ao manuseio do sistema de aquisição da imagem, e também utilizaram o sistema proposto nas mesmas condições e corpos de prova. A figura 3.11 ilustra os valores comparativos obtidos a partir da tabela 3.2.

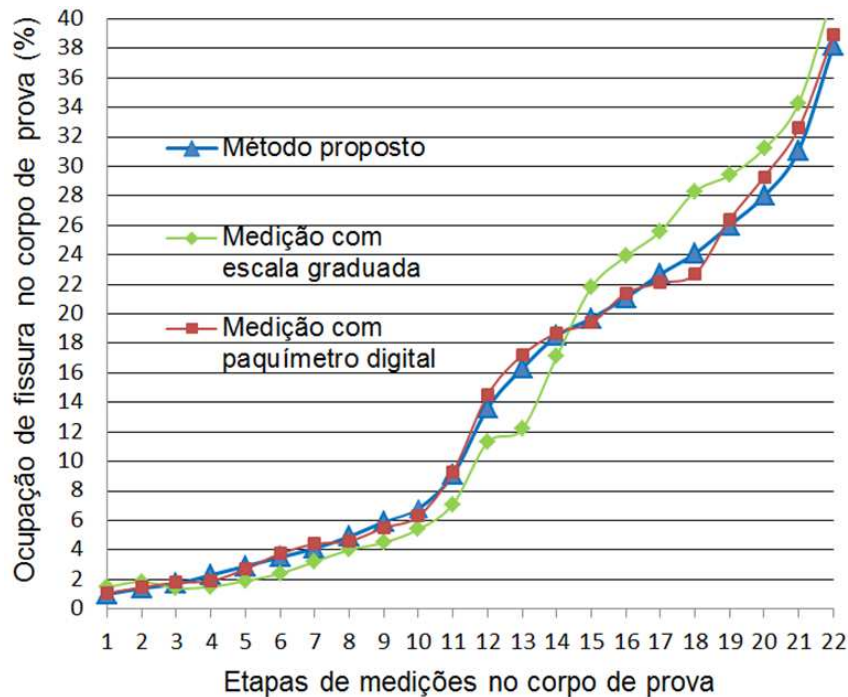


Figura 3.11: Gráfico apresentando os erros médios percentuais na repetibilidade entre as medições dos técnicos (A e B) com a régua graduada, o paquímetro digital, e o sistema proposto. Foram 22 etapas de medição, durante o monitoramento de fissuras no corpo de prova número 3. Fonte: Próprio autor.

A mesma região do corpo de prova apresentando abertura de fissura foi utilizada em todas as medições, independente do método de medida. A utilização da escala e do paquímetro digital demandou maior tempo na obtenção da medição convencional, devido à realização de duas medições dos dois técnicos em cada instrumento. As medições sucessivas foram necessárias para a obtenção das correspondentes médias para cada fase de evolução das fissuras, e são ilustradas na figura 3.11. No total sete fissuras foram observadas durante o período de compressão do corpo de prova na máquina de ensaio. Ao longo desse procedimento de ensaio de compressão, diferenças significativas nas dimensões das aberturas de fissuras puderam ser observadas.

Diferente da técnica convencional, que demanda cálculos extras a partir das leituras convencionais, o método proposto apresentou o percentual de ocupação das fissuras à medida que as imagens eram capturadas. A resolução de 0,5 mm

da escala graduada, associada à dificuldade de visualização (leitura da escala e posicionamento na fissura) contribuiu para produzir medições com maiores erros. O paquímetro digital, por sua vez, apresentou leituras diretamente no mostrador do instrumento, com a desvantagem da necessidade de realizar o posicionamento manual, muitas vezes, de forma subjetiva, sobre a fissura no corpo de prova.

Na figura 3.12 são ilustrados os erros de repetibilidade das medições obtidas com paquímetro e o sistema proposto, para as etapas de medições das fissuras.

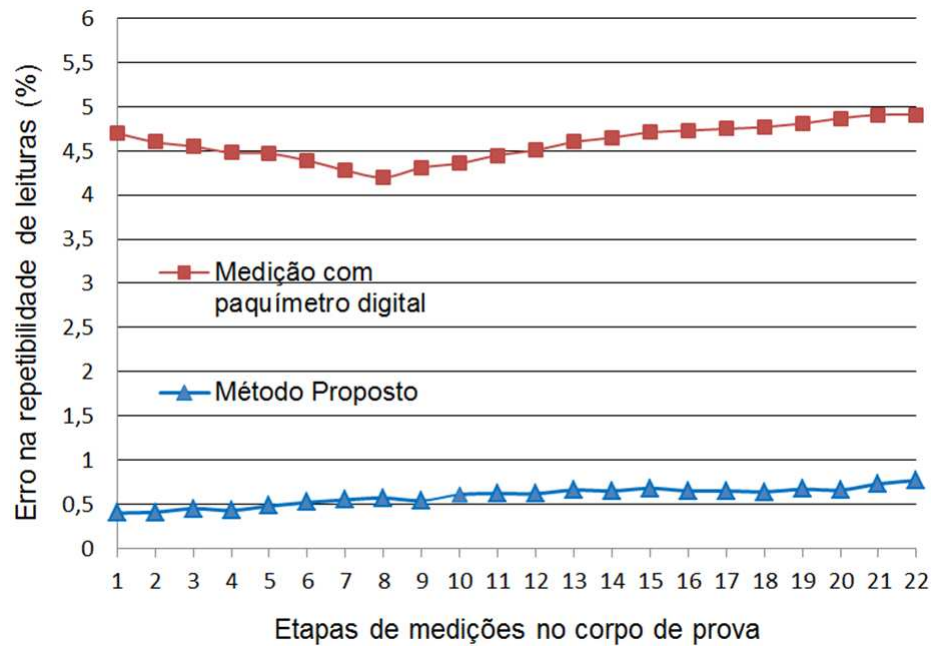


Figura 3.12: Gráfico com os valores de erros de repetibilidade de medições de fissura no corpo de prova. No total, foram realizadas 22 etapas de comparações entre o paquímetro digital e o método proposto. Fonte: Próprio autor.

Os resultados apresentados na figura 3.12 indicam que os erros na repetibilidade do paquímetro digital superaram aqueles apresentados pelo método proposto independente da quantidade de medições realizadas. O paquímetro digital apresentou erro de repetibilidade entre 4,2 a 4,91%. Em particular, esses erros foram maiores durante o início de abertura da única fissura observada, na qual as dimensões de fissura aproximam-se da resolução do paquímetro. A partir da 9ª medição com o paquímetro digital há um aumento no erro de repetibilidade, devido ao maior índice de fissuras no corpo de prova avaliado.

Em contrapartida, o método proposto obteve melhores resultados em razão da sua capacidade em detectar e contar menores quantidades de *pixels*, para a mesma fase de aumento das fissuras no corpo de prova, apresentando erro de repetibilidade entre 0,4 a 0,77%. Esse aumento proporcional de erro na repetibilidade deve-se a deformação do corpo de prova em relação a base suporte, em

razão da incidência de iluminação externa.

Uma avaliação do desempenho do método proposto demonstra que é necessário um tempo de aproximadamente 1,5 segundo para processar uma imagem do corpo de prova, contra uma média de 235 segundos para o método convencional. A figura 3.13 apresenta as durações que correspondem a 22 etapas de medições coletadas no corpo de prova pelo método convencional com o paquímetro.

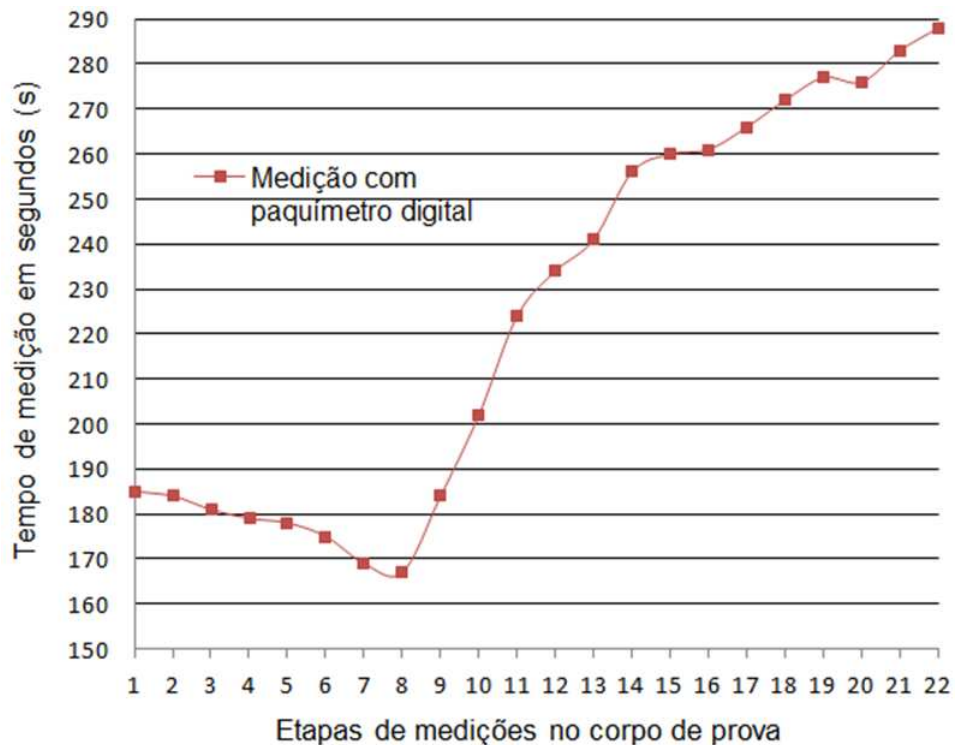


Figura 3.13: Tempo de medições no método convencional durante 22 etapas de medições no corpo de prova número 3. Fonte: Próprio autor.

Observa-se na figura 3.13 que o tempo demandado pela medição convencional até a 8ª medição é inversamente proporcional ao aumento da abertura da única fissura observada no corpo de prova. Também se observa que o tempo demandado pela medição convencional entre a 9ª e 22ª medição é diretamente proporcional ao aumento do índice de fissuras identificadas no corpo de prova.

A comparação de erro de repetibilidade em relação às dimensões das fissuras observadas é ilustrada na figura 3.14. Nota-se que os erros apresentados pelo paquímetro digital superam aqueles encontrados pelo método proposto. Os resultados da figura 3.14 indicam que, à medida que a única fissura observada aumenta em dimensão até a 8ª medição, menor são os erros registrados pelo método convencional. Esse comportamento ocorreu em razão da maior facilidade na visualização do aumento da fissura ao longo do ensaio de compressão.

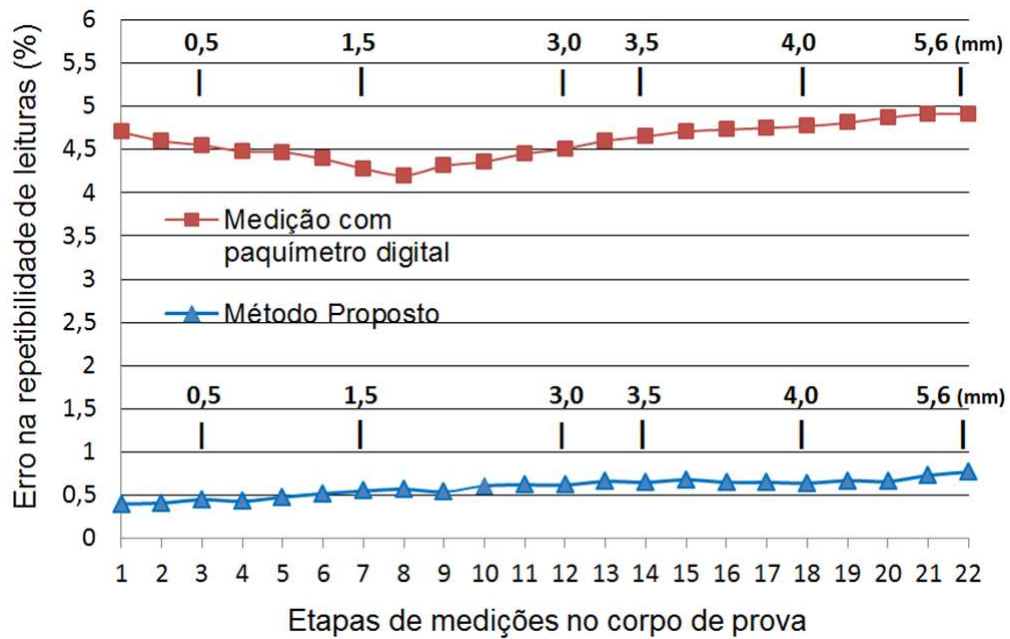


Figura 3.14: Comparação de erro de repetibilidade entre o método proposto e o método convencional com o paquímetro digital, em relação às dimensões físicas das aberturas de fissuras. Fonte: Próprio autor.

Na figura 3.14 à medida que surgem novas fissuras na fase inicial, o erro se torna maior. Para esses casos, o erro do método convencional foi de 4,2% para 4,9% entre a 9ª e a 22ª medição. Em contrapartida, o erro exibido pelo método proposto aumentou ligeiramente ao final das medições devido à maior quantidade de luminosidade externa que incidiu sobre o corpo de prova, devido sua deformação em relação à base suporte. Todavia, essa imprecisão permaneceu abaixo de 1% durante todas as medições.

3.3.2 Experimento Comparativo No Monitoramento De Colônias De Microorganismos *S. cerevisiae* Em Placa De Petri

No monitoramento de colônias de *S. cerevisiae* é necessário preparar o ágar para a cultura em placa de Petri. A preparação consiste em adicionar em um recipiente 0,9 gramas de cloreto de sódio, 0,9 gramas de extrato de carne, 1,8 gramas de peptona e 2,7 gramas de ágar base e dilui-se em 180 ml de água destilada. Esse meio foi distribuído em placas de Petri e submetido ao autoclave por 15 minutos utilizando pressão de 1 atm e temperatura de 121 °C. A levedura *S. cerevisiae* é adicionada na forma líquida sobre o ágar já consistente.

Na obtenção das imagens durante o monitoramento de colônias de *S. cerevisiae*, o método proposto é variante ao deslocamento lateral da placa de Petri.

Desta forma foi aproveitada uma base suporte existente em um procedimento convencional, identificado como dispositivo contador manual de colônias, ilustrado na figura 3.15. Essa base suporte garante a repetibilidade no posicionamento da placa de Petri e o alinhamento da câmera fotográfica do aparelho celular para a obtenção de imagens sucessivas. As características originais da base suporte foram mantidas (base guia da placa de Petri, retroiluminação constante e lente) mantendo a condição convencional do dispositivo.

Com a equação 2.1 e 2.2 obtém-se a distância de trabalho entre a câmera do aparelho celular e a região de monitoramento da placa de Petri, disposta na base suporte do sistema de aquisição da imagem. A distância de trabalho máxima e mínima foi obtida considerando o tamanho do sensor de aquisição da câmera do aparelho celular, de 5,08 mm (SAMSUNG, 2013).

A distância focal ficou entre 11,8 mm a 8,1 mm dentro do sistema de aquisição da imagem desenvolvido. A distância máxima de trabalho (WD_{max}) foi de aproximadamente 205 mm, para o campo de visão de 88 mm da placa de Petri.

Também constatou-se que a WD_{min} é de 140 mm para um campo de visão de 88 mm, que representa o diâmetro da base suporte na placa de Petri. A distância de trabalho neste caso ficou em 180 mm, em razão do suporte do celular.

$$WD_{max} = \frac{(11,8)x(88)}{5,08}$$

$$WD_{min} = \frac{(8,1)x(88)}{5,08}$$

No sistema de aquisição da imagem ilustrado na figura 3.15, o conjunto inferior da base suporte é provido de uma lâmpada para a retroiluminação da placa de Petri, mantendo a luminosidade controlada na placa. O aquecimento proveniente da retroiluminação colabora também para manter a temperatura da placa de Petri próxima à temperatura de incubação durante o monitoramento.

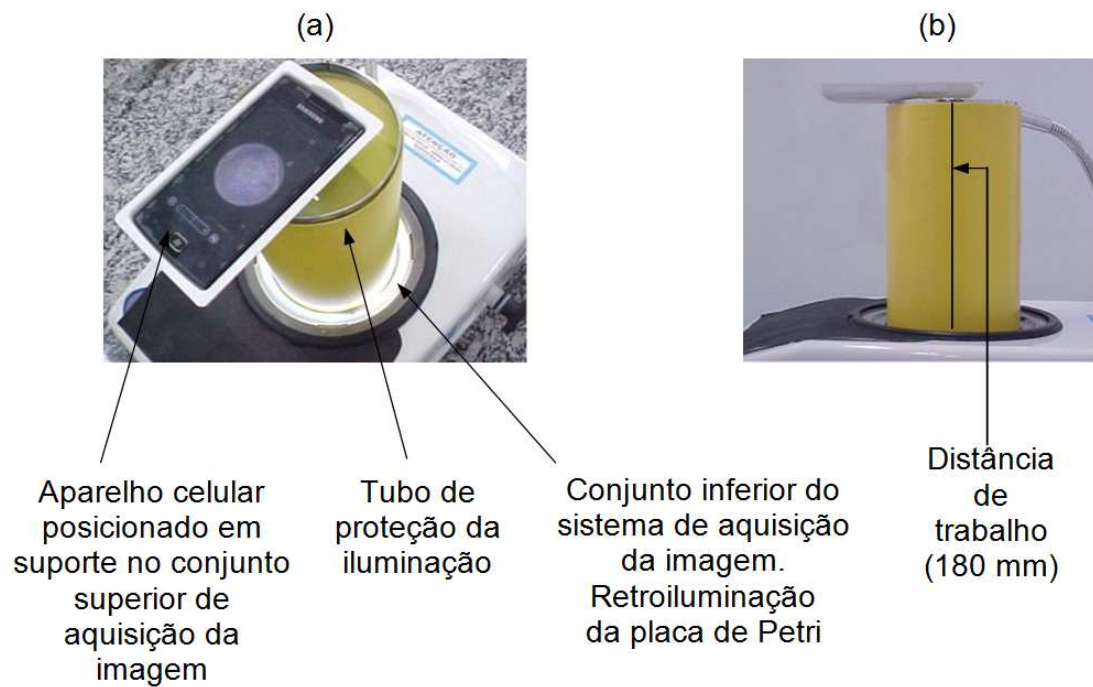


Figura 3.15: Sistema aquisição de imagem com o sistema de visão proposto para monitoramento de colônias. (a). Aparelho celular posicionado sobre uma placa de Petri na base suporte com o tubo de proteção da iluminação. (b) Detalhe da distância de trabalho entre a câmera do aparelho celular e a placa de Petri localizada no conjunto inferior do sistema de aquisição da imagem. Fonte: Próprio autor.

No conjunto superior do sistema de aquisição da imagem foi adicionado um tubo de proteção com abertura para a câmera do celular e a placa de Petri. O tubo de proteção é preso ao suporte do aparelho celular evitando interferências de iluminação, como por exemplo, a alteração de luz ambiente, sombras ou reflexos durante a captura da imagem.

Na troca sucessiva das placas de Petri durante o período de incubação e monitoramento, o conjunto superior do sistema de aquisição (aparelho celular e tubo de proteção da iluminação) pode ser retirado.

No momento de monitorar a placa de Petri, a mesma deve ser colocada no conjunto inferior da base suporte. Dessa maneira, o usuário posiciona o conjunto superior do sistema de aquisição, alinhando-o com a base suporte e a placa de Petri que possui dimensões padronizadas.

Depois de colocado o aparelho celular na base suporte, o sistema pode ser utilizado para o monitoramento. A figura 3.16 e 3.17 ilustram as telas reais do aparelho celular do sistema proposto em um exemplo de identificação da ocupação das colônias na placa de Petri. A figura 3.16 (a) apresenta o ícone do aplicativo, e (b) a respectiva tela inicial.



Figura 3.16: Processamento de uma imagem da placa de Petri no aparelho celular com o sistema *Windows Phone*: (a) Tela inicial do aparelho celular com o ícone *WphoneColonias*; (b) Seleção do sistema e do limiar para o processamento da imagem a ser capturada. Fonte: Próprio autor.

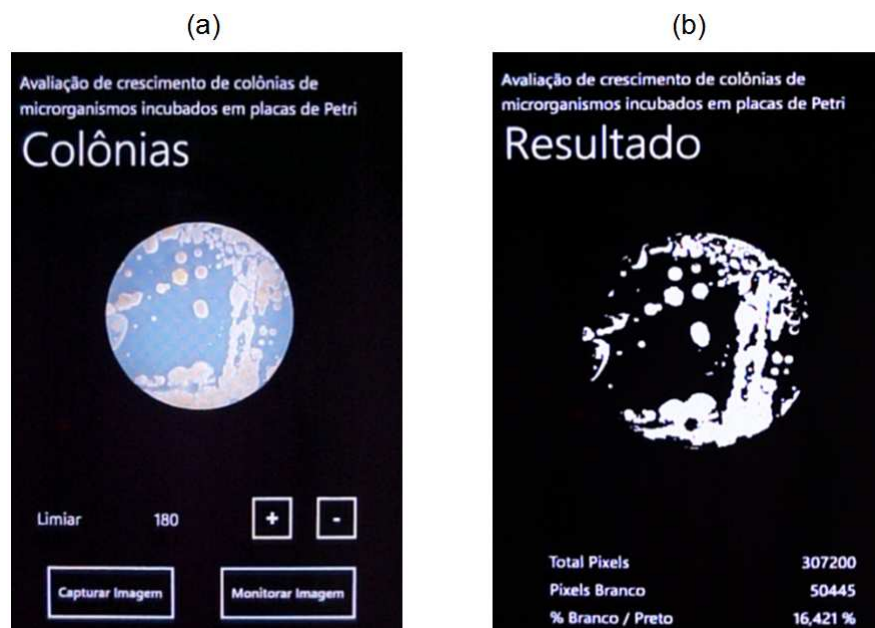


Figura 3.17: Telas de processamento e monitoramento da imagem da placa de Petri. (a) Processamento (monitoramento) da imagem. (b) Imagem binária da placa de Petri e a apresentação do resultado dos *pixels* monitorados da imagem. Fonte: Próprio autor.

Nas figuras 3.17 (a-b) podem-se observar os agrupamentos de colônias após a semeadura dos micro-organismos em ágar na placa de Petri, dificultando ainda mais a medição no método convencional. Testes foram realizados também com a resolução de 640 x 480 *pixels*. Na figura 3.17 (b) é apresentado o resultado de uma

imagem do experimento com o total de 307200 *pixels* (640 x 480), e percentual de 16,421 de ocupação das colônias (*pixels* brancos) na placa de Petri.

O monitoramento das colônias em placa de Petri ocorreu durante o período de 38 horas de incubação em estufa a temperatura controlada de 33,2°C. Com a disposição dos dados de forma similar à tabela 3.1, a figura 3.18 apresenta uma ilustração gráfica externa ao aparelho celular, com as taxas de crescimento das colônias a partir do período visível na placa de Petri no método proposto. Os valores de medição foram registrados pelo sistema até o término do crescimento das colônias de *S. cerevisiae*. Observou-se a ocupação percentual das colônias em cada placa de Petri preparada com diferentes diluições de *S. cerevisiae*: 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} e 10^{-2} ml.

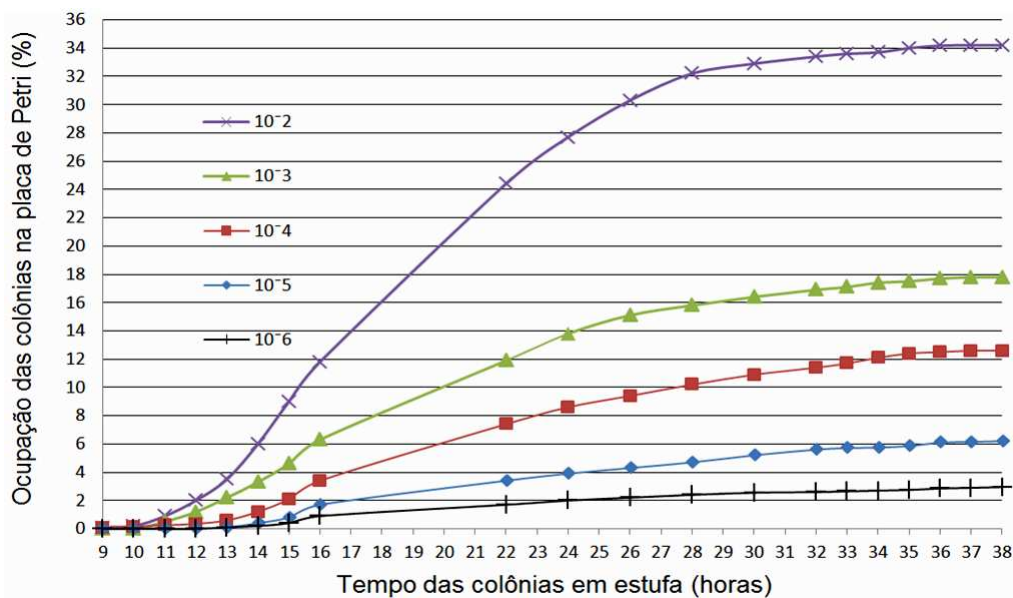


Figura 3.18: Ocupação proporcional das colônias em cada placa de Petri obtido pelo sistema proposto com *S. cerevisiae* nas diluições: 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} e 10^{-2} ml. Foram 20 medições (fases de crescimento das colônias) entre a 9^a e 38^a hora de incubação. Fonte: Próprio autor.

A realização do experimento as diversas diluições foi para obter diferentes níveis de ocupação percentual e conseqüente variado número de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri. O desempenho do sistema de visão se manteve praticamente constante. Diferente do método convencional de medição, onde a dificuldade e o tempo dispendido são proporcionais à quantidade e colônias observadas, dificultando observar pequenas diferenças dimensionais.

A identificação de qualquer alteração dimensional ou estabilização no crescimento das colônias é importante para a avaliação com maior exatidão (MEMARIAN et al., 2007), (ADDINALL et al., 2008). O método proposto no experimento de comparação conseguiu observar alterações dimensionais como a excentricidade

nas colônias, onde o método convencional não conseguiu identificar.

Experimento de comparação de medições também foi realizado contra o método convencional. Nas comparações utilizou-se a levedura de *S. cerevisiae* em placa de Petri.

As demais avaliações de resultados comparativos desta subseção (3.3.2) referem-se à amostra com diluição de *S. cerevisiae* a 10^{-4} ml. Essa diluição foi escolhida, pois apresentou melhor percepção visual das colônias e facilidade na medição com o uso do método convencional.

Durante o monitoramento do crescimento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri, comparações entre o método convencional e proposto foi realizado em 20 etapas de medição. Cada técnico (A e B) realizou duas medições, obtendo o erro médio percentual na repetibilidade entre as respectivas medições convencionais. O método proposto foi submetido às mesmas condições de monitoramento, com a realização de quatro medições em cada etapa. Os resultados estão apresentados na tabela 3.3 e figura 3.19.

A partir da visualização do início do surgimento das colônias, medições convencionais foram realizadas pelos técnicos A e B usando uma escala graduada com resolução de 0,5 mm. A resolução insatisfatória da escala graduada e a dificuldade de visualização no momento das leituras ocasionou uma baixa precisão nessas medições. Devido à baixa resolução desta escala, outras medições convencionais foram realizadas utilizando um paquímetro digital de 0,01 mm de resolução. O paquímetro digital, por sua vez, apresentou leituras diretamente no mostrador do instrumento, com a desvantagem de realização o posicionamento manual sobre a placa de Petri.

Na obtenção das imagens durante o teste comparativo a câmera do aparelho celular foi configurada na resolução de 2560 x 1920 *pixels*. No método proposto é realizada a leitura da placa de Petri com 88 mm de diâmetro com resolução aproximada de 0,046 mm ou 46 microns, obtido a partir da equação 2.3.

$$PS(\mu m) = \frac{88000(\mu m)}{1920(pixels)}$$

Tabela 3.3: Erro percentual na repetibilidade entre as medições realizadas no método convencional, com o técnico A e B utilizando o paquímetro digital e o sistema proposto na medição de colônias. Foram 20 etapas de medição durante o monitoramento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri. Fonte: Próprio autor.

N° da etapa de medição no monitoramento em placa de Petri	Técnico A	Técnico B	Sistema proposto
	Erro médio percentual na repetibilidade entre duas medições com o paquímetro	Erro médio percentual na repetibilidade entre duas medições com o paquímetro	Erro médio percentual na repetibilidade entre quatro medições
1	6,1	5,7	0,16
2	5,5	5,6	0,21
3	5,3	5,15	0,21
4	5,2	5,1	0,17
5	5,2	5,5	0,22
6	5,1	5,2	0,19
7	4,8	5,4	0,18
8	4,9	4,55	0,19
9	4,5	4,6	0,17
10	4,7	4,8	0,2
11	4,7	4,5	0,2
12	4,6	4,4	0,2
13	4,5	4,6	0,19
14	4,6	4,3	0,18
15	4,4	4,5	0,23
16	4,3	4,7	0,22
17	4,1	4,4	0,23
18	4,2	3,8	0,18
19	3,8	3,6	0,22
20	3,85	3,5	0,21

As mesmas condições de monitoramento foram utilizadas pelos técnicos para o sistema proposto. Os técnicos que realizaram o monitoramento no método convencional também utilizaram o sistema de visão computacional nas mesmas condições e placa de Petri.

Diferente da técnica convencional, a qual demanda anotações dos respectivos valores e cálculos extras a partir das medições manuais, o método proposto apresentou a taxa de ocupação das colônias à medida que as imagens eram capturadas.

Na comparação de medição conduzida, os valores do método proposto que resultaram o gráfico da figura 3.19, foram coletados, processados e apresentados diretamente na tela do aparelho celular ao usuário.

Os resultados da figura 3.19 indicam que os erros na repetibilidade do paquímetro digital superaram aqueles apresentados pelo método de medição proposto, independente da quantidade de medições realizadas. Esses erros foram maiores

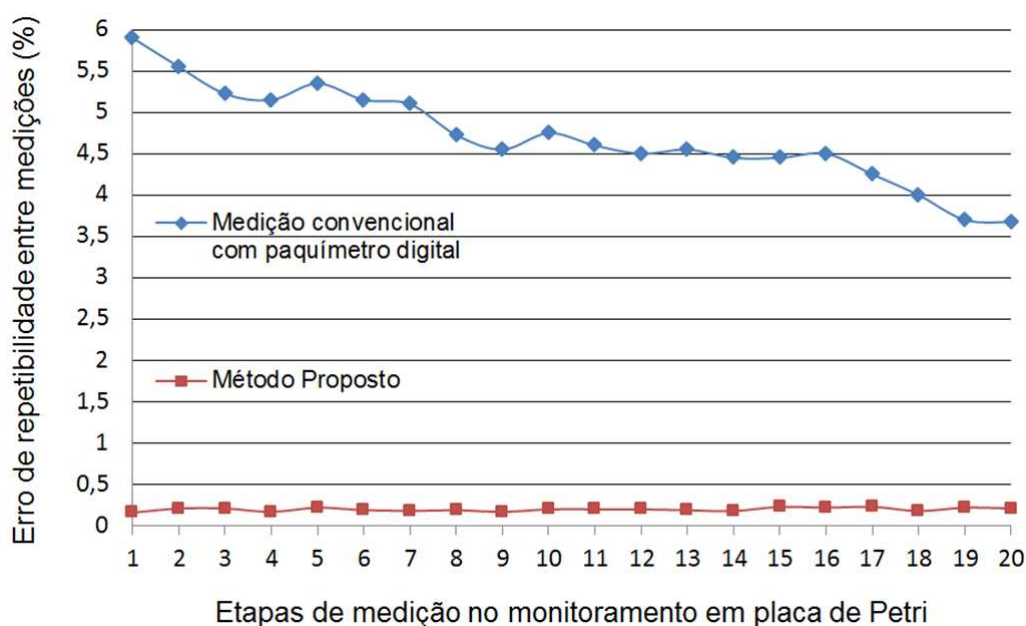


Figura 3.19: Gráfico apresentando os erros médios percentuais na repetibilidade entre as medições dos técnicos A e B, e o método proposto no monitoramento de colônias. Foram 20 etapas de medição durante o monitoramento de crescimento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri. Fonte: Próprio autor.

próximos à fase exponencial de crescimento das colônias, na qual as dimensões medidas das colônias aproximam-se da resolução do instrumento paquímetro. Em contrapartida, o método proposto foi praticamente estável na detecção de menores e maiores quantidades de *pixels* que representam as fases de crescimento das colônias de *S. cerevisiae*. Nos testes experimentais, os erros de repetibilidade das medições do sistema proposto sem o tubo de proteção da iluminação ficaram acima de 1 %. Os erros de repetibilidade foram reduzidos devido à proteção da iluminação no sistema de aquisição proposto, ficando entre 0,16 % a 0,23%, como ilustra a tabela 3.3 e a figura 3.19. Uma avaliação do desempenho do método proposto demonstra que é necessário um tempo de aproximadamente 1,5 segundo para processar uma imagem com até 37 colônias incubadas em uma placa de Petri, contra uma média de 271 segundos para o método convencional com o paquímetro digital.

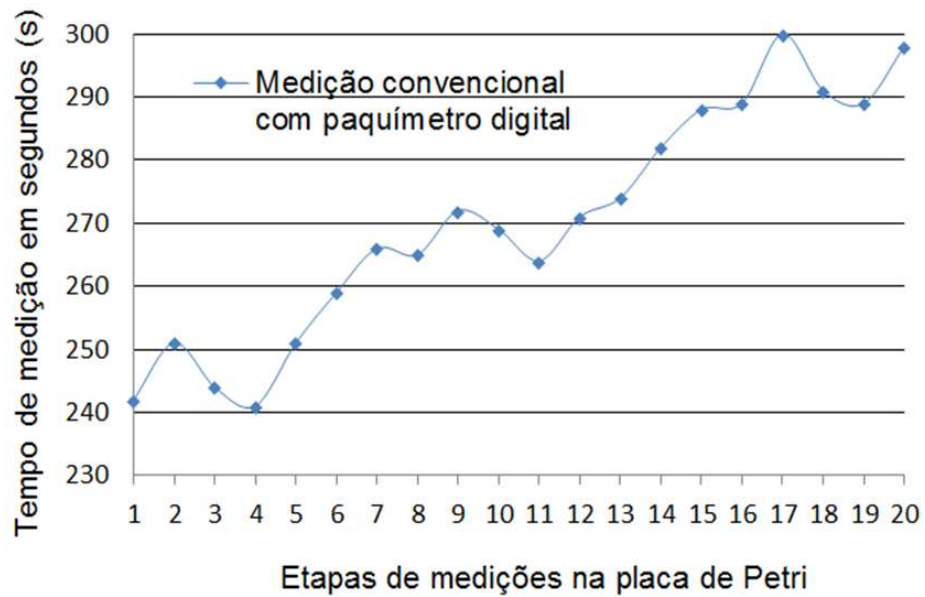


Figura 3.20: Tempo de medição no método convencional com o paquímetro digital em 20 etapas de medições na placa de Petri. Fonte: Próprio autor.

Observa-se que o tempo demandado no método de medição convencional é diretamente proporcional ao aumento da quantidade de colônias na placa de Petri.

O aumento dimensional de colônias na placa de Petri é considerado um fator de desempenho num contexto de avaliação do comportamento de microorganismos. A quantidade de colônias foi utilizada apenas na comparação de tempo entre o método convencional e o método proposto, apresentado nesta subseção e ilustrado na figura 3.21.

A comparação de erro de repetibilidade em relação ao tamanho das colônias observadas é ilustrada ainda na figura 3.21. Nota-se que os erros apresentados pelo paquímetro digital superam aqueles encontrados pelo método proposto e são maiores para menores dimensões das colônias. O procedimento experimental observou 37 colônias de *S. cerevisiae* durante a incubação. Ao longo dessas etapas de medição na incubação das colônias, diferenças percentuais significativas nas dimensões das colônias foram observadas.

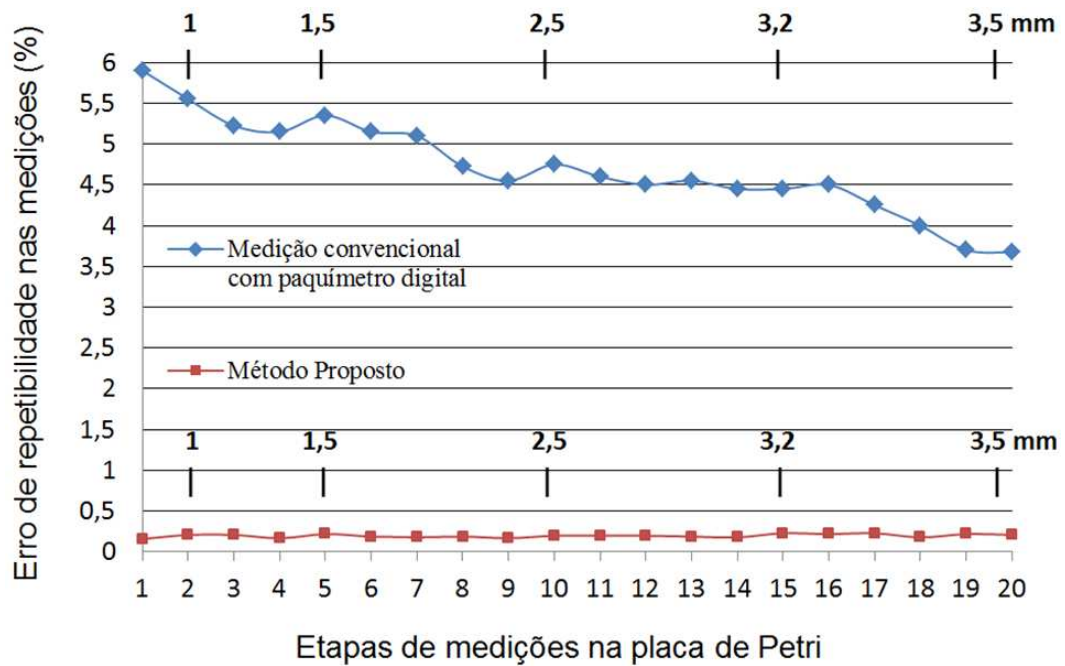


Figura 3.21: Comparação de erro de repetibilidade entre o método proposto e o método convencional com o paquímetro digital em relação às dimensões físicas das colônias. Foram 20 etapas de medições na placa de Petri. Fonte: Próprio autor.

Os resultados da figura 3.21 indicam que, à medida que as colônias aumentaram em até 3,5 mm de tamanho físico, menores são os erros registrados pelo método de medição convencional. Esse comportamento ocorreu em razão da maior facilidade na visualização das colônias ao longo da sua curva de crescimento exponencial. Para esses casos, o erro de repetibilidade das medições do método manual foi reduzido de 6,1 % a 3,5 % entre a 1ª e a 20ª etapa. Em contrapartida, o erro de repetibilidade exibido pelo método proposto aumentou ligeiramente ao final das medições, devido à maior quantidade de *pixels* que as colônias ocuparam. Todavia, essa imprecisão permaneceu em no máximo 0,23% durante as medições.

3.3.3 Discussão Dos Resultados

Diante dos experimentos de monitoramento de fissuras em concreto e em colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri, observou-se que o método proposto apresentou diferenças significativas, comparado ao método convencional:

- O sistema proposto identificou pequenas modificações dimensionais na abertura de fissura e em colônias, diferente do método convencional, que é limitado em resolução e subjetividade do técnico de inspeção no posicionamento manual do instrumento de medição.

. A determinação do limiar no método de visão foi realizada de forma manual, com base na melhor identificação do início do surgimento da fissura ou de colônias em relação ao fundo da imagem.

. A observação direta na medição convencional é uma tarefa muito minuciosa e exaustiva e depende da experiência do técnico. Além disso, fatores como cansaço, fadiga e distrações podem contribuir para conduzir a registros de dimensões de fissuras e de colônias de *S. cerevisiae* diferentes das dimensões verdadeiras.

. Houve redução na carga de trabalho do técnico, facilitando a produção de resultados mais exatos e consistentes (menor erro de repetibilidade).

. Em ambas as aplicações comparadas ao método convencional, houve a produção de melhores resultados independentemente da forma e do tamanho de fissuras ou de colônias observadas.

. A identificação de alterações da região da fissura e de colônias dispensa instrumentos dimensionais e procedimentos de leitura e interpretação de metrologia dimensional.

. O índice percentual da região das fissuras e de micro-organismos é obtido diretamente na tela do aparelho celular à medida que as imagens são capturadas e processadas, diferentemente do método convencional que demanda medições exaustivas e cálculos externos para a obtenção de resultados com menores significâncias estatísticas.

3.4 Avaliação Do Método Proposto

O método proposto foi submetido a experimentos de comparação para verificar os resultados obtidos no processamento de imagem na plataforma móvel.

3.4.1 Avaliação Da Variação Do Limiar Nos Resultados Do Monitoramento De Imagem No Método Proposto

Uma avaliação foi realizada para verificar os resultados do método proposto diante de variações do valor do limiar na binarização da imagem. A avaliação utilizou uma imagem do experimento de fissuras aplicando diferentes valores de limiar.

Os resultados do gráfico na figura 3.22 indicam que em uma imagem monitorada, uma faixa de valores de limiar entre 138 a 150 (parcial estabilidade) permite manter os resultados de monitoramento proporcionais, desde que utilizado o mesmo valor do limiar em todas as etapas de monitoramento.

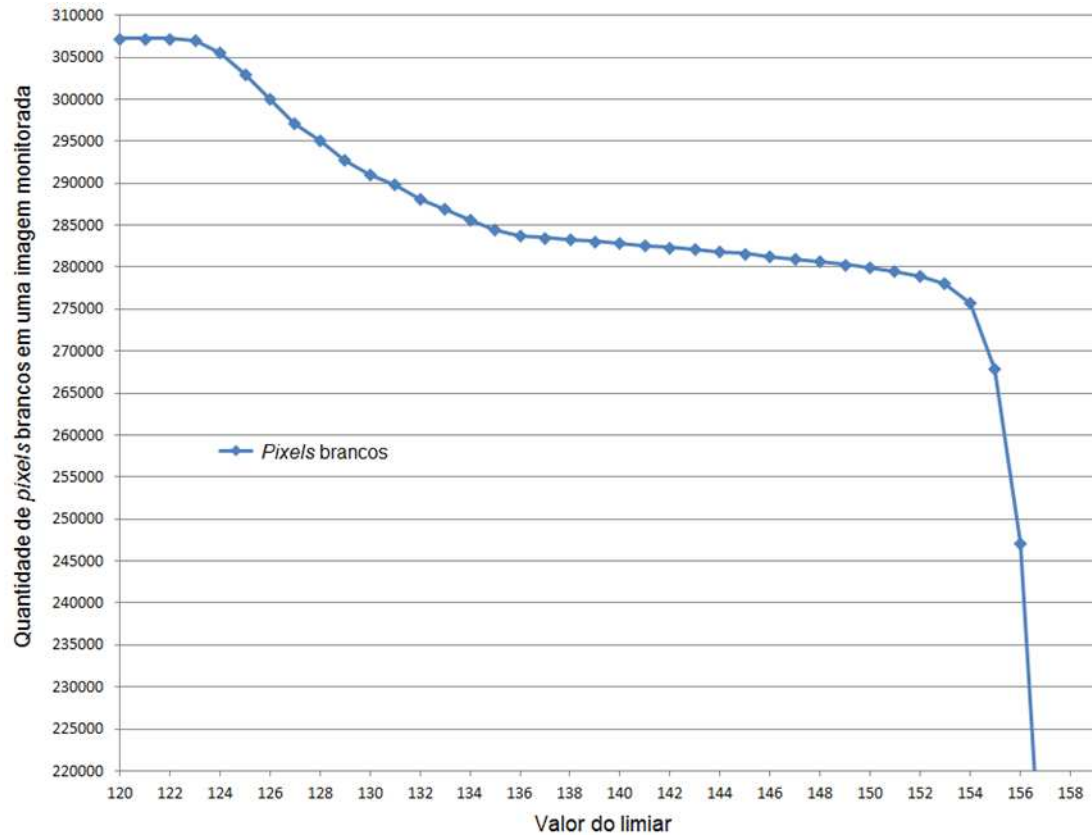


Figura 3.22: Quantidade de *pixels* brancos em uma imagem em função da variação do valor do limiar aplicado. Fonte: Próprio autor.

3.4.2 Avaliação Do Método Proposto Comparado Ao Processamento Em PC

Para verificar o desempenho do algoritmo do método proposto, um teste comparativo com o algoritmo de processamento digital da imagem foi realizado em PC, com processador marca Intel Core I3 2330M, 2.2 Ghz, memória RAM de 3GB e sistema operacional de 64 Bits. A plataforma móvel dispõe de processador de 1,4 GHz, memória RAM de 512 MB e sistema operacional *Windows Phone 7.5*.

O mesmo limiar das imagens processadas na plataforma móvel foi aplicado na comparação em PC. O método em PC identificou a mesma quantidade de *pixels* pretos que representam as fissuras e os *pixels* brancos, e que representam as colônias de *S. cerevisiae* em distintas imagens.

A diferença que o método em PC conseguiu desempenhar o processamento em

tempo abaixo de 1 segundo, diferente do processamento em plataforma móvel, que utiliza um tempo de aproximadamente 1,5 segundo para processar uma imagem.

3.4.3 Avaliação Do Método Proposto Comparado A Um *Software* De Processamento De Imagem

Para validar os resultados obtidos no método proposto, as imagens capturadas foram submetidas a um teste comparativo com o processamento em PC com um *software* matemático, *toolbox* de processamento de imagens e algoritmo com a contagem de *pixels*. O mesmo limiar das imagens processadas na plataforma móvel foi aplicado na comparação. A figura 3.23 ilustra a comparação dos resultados de medição das imagens entre o método proposto no monitoramento de fissuras em concreto, e os valores obtidos no PC. O método proposto acompanhou a medição de referência do algoritmo processado no *software* em PC. As diferenças entre os métodos representam um valor abaixo de 1,4 %.

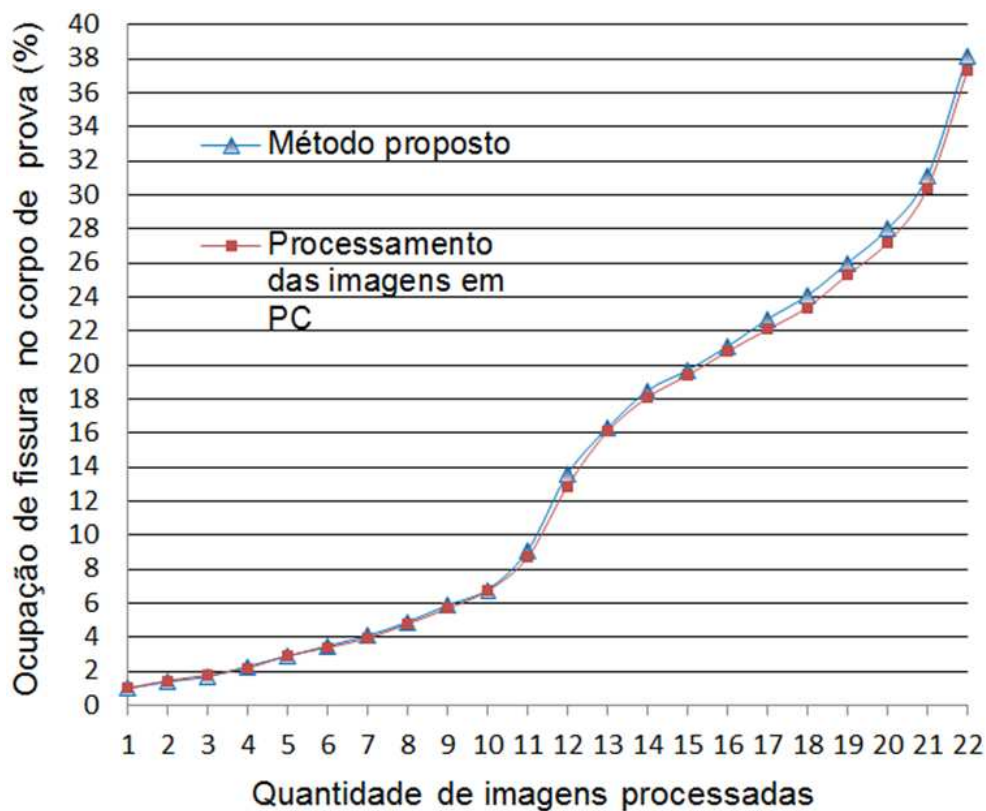


Figura 3.23: Comparação de medição entre as imagens do corpo de prova número 3 no método proposto e o processamento das imagens no PC. Foram 22 imagens processadas. Fonte: Próprio autor.

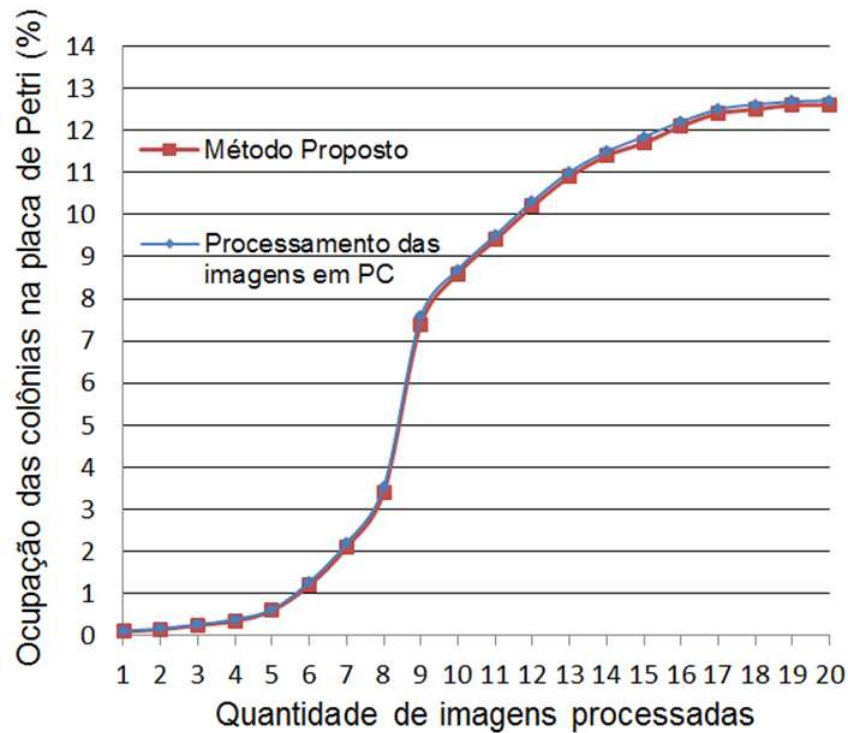


Figura 3.24: Comparação de medição das imagens da placa de Petri em diluição 10^{-4} ml de *S. cerevisiae* entre o método proposto e o processamento das imagens em PC. Foram 20 imagens processadas. Fonte: Próprio autor.

A figura 3.24 ilustra a comparação dos resultados de medição das imagens processadas na plataforma móvel durante o monitoramento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri, e os valores obtidos no PC. O método proposto acompanhou a medição de referência do algoritmo processado no *software* em PC. As diferenças entre os métodos representam um valor abaixo de 0,9 %.

3.5 Limitações do Método Proposto

Diante dos experimentos de monitoramento de fissuras em concreto e em colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri, observou-se que o método proposto apresentou as seguintes limitações:

- . O método proposto é sensível a deslocamentos laterais e de distância do aparelho celular em relação à região de interesse na imagem, necessitando de suporte para manter a regularidade na captura da imagem;

- . Para evitar interferências de iluminação, os suportes com iluminação própria são necessários nas aplicações propostas (identificação de colônias de *S. cerevisiae* e fissuras em alvenaria ou concreto).

- . Este método exige o preparo da superfície (pintura cor branca) no monito-

ramento de fissuras na estrutura em alvenaria ou em concreto, além da fixação do pino guia na estrutura para o sistema de aquisição da imagem.

. O sistema proposto é aplicado somente no monitoramento em que a cor do ágar da placa de Petri deve apresentar contraste em relação às colônias de micro-organismos.

. Pode ocorrer subjetividade na escolha do limiar no início do monitoramento, pois o valor deve ser determinado pelo usuário em razão da visualização do início do aparecimento de fissuras ou de colônias no sistema proposto.

. Houve até o momento maiores variações de erros no sistema proposto com uso de um método automático experimental para detecção de limiar para imagens, devido a alterações de características de tonalidade de cor ou rugosidade de fundo nas imagens monitoradas.

. Todas as fissuras em alvenaria e concreto ou em colônias de *S. cerevisiae* são processadas no campo de visão do sistema proposto, sem a distinção entre maiores ou menores dimensões, ou regiões individualizadas.

. As limitações dimensionais de monitoramento estão de acordo com os 220 mm de diâmetro da base suporte para fissuras, e 88 mm de diâmetro para as colônias na placa de Petri. Para dimensões diferentes há a necessidade de desenvolver base suporte com a iluminação controlada.

Conclusão

O método de monitoramento proposto neste trabalho identifica o índice percentual da região de fissura em alvenaria ou concreto, por meio de algoritmo de processamento de imagens em plataforma móvel e sistema com suporte para a aquisição de imagem. Da mesma forma o método proposto realiza o monitoramento do crescimento de colônias de *S. cerevisiae* em placa de Petri. Uma contribuição do presente trabalho é o desenvolvimento do algoritmo diretamente implementado na plataforma móvel, com a obtenção de resultados no local da aplicação, com desempenho superior ao método convencional de medição e compatível com o processamento de imagens em PC. O sistema proposto com plataforma móvel comparado a um sistema de visão computacional tradicional, realiza a tarefa de monitoramento dispensando a estrutura física como cabos de comunicação, conectores, dispositivos de memória/placa de aquisição e um PC. A aquisição e processamento da imagem diretamente na plataforma móvel dispensa o uso de *software* em PC. O uso de uma plataforma móvel com a base suporte portátil (leve e pequena) oferece a vantagem adicional da mobilidade, especialmente interessante quando diferentes análises devem ser conduzidas em diferentes ambientes.

De acordo com (GONZALEZ; WOODS, 2010), as técnicas de processamento diretamente nos *pixels* da imagem (domínio espacial) são computacionalmente mais eficientes e requerem menos recursos de processamento para ser realizada, comparado ao domínio da frequência. Dessa forma, o algoritmo apresentado, sem maiores complexidades e de forma funcional nas aplicações propostas e nos testes realizados, possibilita em trabalhos futuros a complementação, por exemplo, de correção de distância e de iluminação na captura da imagem.

Destaca-se ainda a possibilidade de aplicar o algoritmo do método proposto em plataformas com outros sistemas operacionais, não limitado ao *Windows Phone*.

Diante da aplicação da plataforma móvel nos experimentos comparativos, os resultados demonstraram que método proposto neste trabalho superou a técnica convencional em diversos aspectos, e serão apresentados na sequência.

Automatização da inspeção visual na engenharia civil Experimento comparativo foi realizado entre o sistema de visão proposto e o método convencional de medição de abertura de fissura. Dessa forma, o sistema de visão apresentado neste trabalho, o qual utiliza um aparelho celular para aquisição de imagens e processamento, produziu os seguintes resultados:

- . A identificação de alterações da região da fissura dispensa conhecimentos e experiência do técnico em procedimentos de leitura e interpretação de instrumentos de metrologia;

- . Resultados com menor erro de repetibilidade entre as medições, independente do índice de fissuras encontradas e da dimensão das aberturas de fissura sob observação;

- . O índice percentual da região de fissuras é obtido diretamente na tela do aparelho celular à medida em que as imagens eram capturadas e processadas, diferentemente do método convencional que demanda medições exaustivas e cálculos externos para a obtenção de resultados;

- . O menor tempo de medição, constante e independente do comprimento, forma irregular e índice de fissuras encontradas, representaram outro resultado atrativo.

O monitoramento de fissuras do presente trabalho também pode ser aplicado na análise do comportamento de diferentes compostos do concreto submetidos a ensaios mecânicos.

Automatização da inspeção visual em biotecnologia

Comparações com o método convencional de medição de colônias em placa de Petri demonstraram que método proposto de monitoramento de taxa de crescimento de colônias de *S. cerevisiae* superou a técnica convencional em diversos aspectos. Um experimento comparativo foi realizado entre o sistema de visão proposto e o método convencional de medição colônias de *S. cerevisiae*. Dessa forma, o sistema de visão apresentado neste trabalho, o qual utiliza um aparelho celular para aquisição de imagens e processamento, produziu os seguintes resultados: . A identificação de alterações do crescimento de colônias de *S. cerevisiae* dispensa conhecimentos e experiência do técnico em procedimentos de leitura e interpretação de instrumentos de metrologia;

- . Resultados com menor erro de repetibilidade entre as medições, indepen-

dente das forma concêntrica ou excêntrica das colônias de *S. cerevisiae* sob observação;

. O índice percentual de ocupação das colônias é obtido diretamente na tela do aparelho celular à medida que as imagens eram capturadas e processadas, diferentemente do método convencional que demanda medições exaustivas e cálculos externos para a obtenção de resultados;

. O menor tempo de medição, constante e independente do diâmetro, dimensões e índice de colônias encontradas, representaram outro resultado atrativo; Apesar das limitações do método de visão computacional deste trabalho citadas, em melhoria futuras pretende-se desenvolver um banco de dados para o sistema proposto com diferentes limiares. Neste caso o usuário poderá escolher um limiar definido previamente, de acordo com o micro-organismo e a composição do ágar utilizado na placa de Petri.

No sistema de visão deste trabalho, o aparelho celular utilizado como plataforma de processamento permite além da obtenção dos dados *in loco*, a possibilidade do envio desses dados obtidos via comunicação móvel, sem a necessidade de um técnico para a coleta de dados durante o monitoramento.

Referências

- ADDINALL, S. G.; DOWNEY, M.; YU, M.; ZUBKO, M. K.; DEWAR, J.; LEAKE, A.; HALLINAN, J.; SHAW, O.; JAMES, K.; WILKINSON, D. J.; WIPAT, A.; DUROCHER D.AND LYDALL, D. A genomewide suppressor and enhancer analysis of *cdc13-1* reveals varied cellular processes influencing telomere capping in *saccharomyces cerevisiae*. *Genetics*, v. 180, p. 2251–2266, 2008.
- ARMS, S.; GALBREATH, J.; NEWHARD, A.; TOWNSEND, C. Remotely reprogrammable sensors for structural health monitoring. *NDE/NDT for Highways and Bridges*, p. 1–8, 2004.
- ASNT, S. f. N. T. *Materials And Processes For NDT Technology*. Columbus: ASNT, 2007.
- BARAZZETTI, L.; SCAIONI, M. Crack measurement: Development, testing and applications of an automatic image-based algorithm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 64, n. 3, p. 285–296, 2009.
- BARAZZETTI, L.; SCAIONI, M. Development and implementation of image-based algorithms for measurement of deformations in material testing. *Materials Science*, n. 10, p. 7469–7495, 2010.
- BERNSTONE, C.; HEYDEN, A. Image analysis for monitoring of crack growth in hydropower concrete structures. *Measurement*, v. 42, p. 878–893, 2009.
- BIANCONI, F.; GONZÁLEZ, E.; A., F.; SAETTA, S. A. Automatic classification of granite tiles through colour and texture features. *Expert Systems with Applications*, v. 39, p. 11212–11218, 2012.
- BINKLEY, T.; PERGA, M.; SYNC, M. *Windows Phone 7 in Action*. New York: Manning Publications Co., 2012.
- BRUGGER S, D.; BAUMBERGER, C.; JOST, M.; JENNI, W.; BRUGGER, U.; HLEMANN, K. M. Automated counting of bacterial colony forming units on agar plates. *Plos One*, v. 7, p. 1–6, 2012.
- CAMERON, R. *Pro Windows Phone 7 Development*. New York: Springer, 2011.
- CBIC. *CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Informativo Econômico Construção Civil: Desempenho e Perspectivas, Banco de Dados, Brasília-DF*. [S.l.]: disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/files/textos/064.pdf>, Dezembro 2011, p.6, 2011.
- CHEN, W. B.; ZHANG, C. An automated bacterial colony counting and classification system. *Information Systems Frontiers*, v. 11, n. 4, p. 349–368, 2009.

- DITTMAR J, C.; REID R, J.; ROTHSTEIN, R. Screenmill, a freely available software suite for growth measurement, analysis and visualization of high-throughput screen data. *BMC Bioinformatics*, v. 11, p. 2–11, 2010.
- EDMUND, I. O. *Technical Support Library*. EUA: Disponível em: <http://www.edmundoptics.com>. Acesso em 02 Dez. 2012., 2012.
- ELMASRY, G.; S., C.; E., M.; BLASCO, J. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineerings*, v. 112, p. 60–68, 2012.
- EPSILON. *Extensometers*. [S.l.]: Disponível em: <http://www.epsilontech.com>. Acesso em 05 Jan. 2013, 2013.
- FORSYTH, D. A.; PONCE, J. *Computer Vision, A Modern Approach*. Boston: Prentice Hall, 2012.
- FUJITA, Y.; HAMAMOTO, Y. A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces. *Machine Vision and Applications*, v. 22, p. 245–254, 2011.
- GLAZER, N. A.; NIKAIDO, H. *Microbial Biotechnology, Fundamentals of Applied Microbiology*. New York: Cambridge University Press, 2007.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. *Processamento De Imagens Digitais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. *Processamento Digital de Imagens*. 3° ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. *Digital Image Processing Using MATLAB*. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- HALMSHAW, R. *Introduction to the Non Destructive Testing of Welded Joints*. London: Woodhead Publishing Ltd, 1996.
- HEJLL, A. Civil structural health monitoring - strategies, methods and applications. *Lulea, University of Technology*, n. 10, p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 2007.
- HELLIER, C. J. *Handbook of Nondestructive Evaluation*. New York: Mc Graw-Hill, 2003.
- KUMAR, G. S.; NATARAJAN, U.; ANANTHAN, S. S. Vision inspection system for the identification and classification of defects in mig welding joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 61, p. 923–933, 2012.
- LAWLESS, C.; WILKINSON, D. J.; YOUNG, A.; ADDINALL, S. G.; LYDAL, D. A. Colonyzer, automated quantification of micro-organism growth characteristics on solid agar. *BMC Bioinformatics*, v. 11, n. 10, p. 287–299, 2010.
- LI, Y.; WADSO, L. Simultaneous measurements of colony size and heat production rate of a mould *penicilliumbrevicompactum* growing on agar. *Journal Therm Anal Calorim*, v. 104, p. 105–111, 2011.

- LONDON, R.; SCHWEDOCK, J.; SAGE, A.; VALLEY, H.; MEADOWS, J.; WADDINGTON, M.; STRAUS, D. An automated system for rapid non-destructive enumeration of growing microbes. *Plos One*, v. 5, n. 1, 2010.
- LUC, V.; PIERRE, S. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 5, n. 1, p. 583–598, 1991.
- MACZULAK, A. *Encyclopedia of Microbiology*. New York: Facts On File, Inc, 2011.
- MADIGAN, M.; MARTINKO, J. M.; STALH, D. A.; CLARCK, D. *Brock Biology of Microorganisms*. New York: Pearson Education, Inc, 2012.
- MARQUES, F. O.; VIEIRA, N. *Processamento Digital de Imagens*. Rio de Janeiro: Editora Brasport, 1999.
- MARTINS, A. P.; PIZOLATO JUNIOR, J. C. Inspeção de solda utilizando visão computacional. *X Simpósio Brasileiro De Automação Inteligente, São João del-Rei-MG*, v. 10, p. 444–449, 2011.
- MASTRAD. *Quality and Test Systems, Mechanical Strain Gauge, DEMEC*. [S.l.]: Disponível em: <http://www.mastrad.com/demecsg>. Acesso em 14 Jun. 2012, 2012.
- MAUROUX, T.; BENBOUDJEMA, F.; TURCRY, P.; AIT-MOKHTAR, A.; DEVES, O. Study of cracking due to drying in coating mortars by digital image correlation. *Cement and Concrete Research*, v. 42, p. 1014–1023, 2012.
- MEMARIAN, N.; JESSULAT, M.; ALIREZAIE, J.; MIR-RASHED, N.; XU, J.; ZAREIE, M.; SMITH, M.; GOLSHANI, A. Colony size measurement of the yeast gene deletion strains for functional genomics. *BMC Bioinformatics*, v. 8, n. 117, 2007.
- MERTENS, L.; DERLINDEN, E. V.; IMPE, J. A novel method for high-throughput data collection in predictive microbiology: Optical density monitoring of colony growth as a function of time. *Food Microbiology*, v. 32, p. 196–201, 2012.
- NISHIKAWA, T.; YOSHIDA, J.; SUGIYAMA, T.; FUJINO, Y. Concrete crack detection by multiple sequential image filtering. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 27, p. 29–47, 2012.
- OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 9, n. 1, p. 62–66, 1979.
- OZ, D. *Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda, Monitorização da Abertura de Fissuras e Fendas com o Fissurômetro Simples*. [S.l.]: Disponível em: <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20031.pdf>. Acesso em 05 jan. 2013, 2013.
- RAHMAN, M. O.; HUSSAIN, A.; ESCAVINO, E.; BASRI, H.; HANNAN, M. Intelligent computer vision system for segregating recyclable waste papers. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 10398–10407, 2011.

- REJC, J.; F., K.; TRPIN, A.; I STRUS, M. T.; REJC, D.; OBID MUINI, M. The mechanical assembly dimensional measurements with the automated visual inspection system. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 10665–10667, 2011.
- SAMSUNG. *CMOS Image Sensor Product Catalogue Samsung Semiconductor Global Website*. [S.l.]: Disponível em: <http://www.samsung.com/global/business/semiconductor/product/cmosimaging/catalogue?iaId=220>. Acesso em 05 Fev. 2013, 2013.
- SASANO, Y.; WATANABE, D.; UKIBE, K.; INAI, T.; OHTSU, I.; SHIMOI, H.; TAKAGI, H. Overexpression of the yeast transcription activator *msn2* confers furfural resistance and increases the initial fermentation rate in ethanol production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 113, n. 4, p. 451–455, 2012.
- SHAPIRO, L.; STOCKMAN, G. C. *Computer Vision*. Boston: Prentice Hall, 2001.
- WANG, L.; WANG, Z.; XIE, W.; XIE, W.; X., S. Fractal study on collective evolution of short fatigue cracks under complex stress conditions. *International Journal of Fatigue*, v. 45, p. 1–7, 2012.
- WETHEROW, O.; GREEN, J.; CHAN, A. D. C.; GOLSHANI, A. Plate analyzer - a yeast colony size measurement system. *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), IEEE International Workshop*, p. 104–144, 2010.
- YAMAGUCHI, T.; HASMUTO, S. Practical image measurement of crack width for real concrete structure. *Electronics and Communications in Japan*, v. 92, n. 10, p. 1–12, 2011.

Apêndice A – Endereços eletrônicos para acesso aos trabalhos publicados pelo autor

Endereços eletrônicos para acesso aos trabalhos publicados pelo autor.

Abaixo é apresentado o Título, Autores e os *links* de acesso público aos artigos submetidos, avaliados, aceitos e apresentados em Congressos da área, e que formam a base deste trabalho aqui apresentado.

Inspeção de Fissuras em Alvenaria Utilizando Visão Computacional

Autores: Alecsander Pereira Martins e José Carlos Pizolato Jr.

<http://www.feis.unesp.br/dincon2011/>

<http://www.sbmac.org.br/dincon/2011/files/articles/056.pdf>

Inspeção de Solda Utilizando Visão Computacional

Autores: Alecsander Pereira Martins e José Carlos Pizolato Jr.

http://www.ppgel.net.br/sbai2011/evento_oquee.php

<http://www.ppgel.net.br/sbai2011/download/Programds.pdf>

Monitoramento da Taxa de Crescimento de Colônias de *Saccharomyces Cerevisiae* em Placas de Petri Usando Plataforma Móvel

Autores: Alecsander Pereira Martins, José Carlos Pizolato Jr., Valdinei Luís Belini.

<http://www.inf.ufg.br/wvc2012/>

http://iris.sel.eesc.usp.br/wvc/Anais_WVC2012/pdf/98187.pdf

Apêndice B – Especificações do sistema de visão p/ monitoramento de fissuras e de colônias de *S. cerevisiae*

Especificações técnicas do sistema de visão para monitoramento de fissuras e de colônias de *S. cerevisiae*.

Aparelho celular

Marca Samsung	Modelo Omnia WSGH-i677 UG
Processador	1,4 GHz
Memória	512 MB (RAM)
Sistema operacional	Windows Phone 7.5
Câmera	Resolução de até 2560 x 1920 <i>pixels</i> (5 megapixels) Resolução mínima 640 x 480 <i>pixels</i> (VGA)

Sistema de aquisição de imagem para o monitoramento de fissuras

Base suporte	Desenvolvido em plástico polietileno
Preparação da superfície	Tinta acrílica cor branca
Diâmetro do tubo de proteção da iluminação	225 mm, em plástico polietileno
Diâmetro máximo da região monitorada	220 mm
Resolução máxima (2560 x 1920 <i>pixels</i>)	Menor valor observado: 0,114 mm
Resolução mínima (640 x 480 <i>pixels</i>)	Menor valor observado: 0,458 mm
Iluminação interna	Lâmpada circular fluorescente
Pino guia para a base suporte	Parafuso 8 mm
WDmax (distância de trabalho máxima) para o monitoramento específico do FOV (campo de visão) em até 220 mm	277 mm
WDmin (distância de trabalho mínima) para o monitoramento específico do FOV (campo de visão) em até 220 mm	165 mm

Sistema de aquisição de imagem para o monitoramento colônias de *S. cerevisiae*

Base suporte	Contador manual de colônias
Diâmetro do tubo de proteção da iluminação	100 mm, desenvolvido em plástico polietileno
Diâmetro total da placa de Petri	98 mm
Diâmetro da região monitorada	88 mm
Resolução máxima (2560 x 1920 <i>pixels</i>)	Menor valor observado: 0,046 mm
Resolução mínima (640 x 480 <i>pixels</i>)	Menor valor observado: 0,183 mm
Iluminação interna	Lâmpada circular fluorescente
WDmax (distância de trabalho máxima) para o monitoramento específico do FOV (campo de visão) em até 88 mm	205 mm
WDmin (distância de trabalho mínima) para o monitoramento específico do FOV (campo de visão) em até 88 mm	140 mm

Apêndice C – Código fonte utilizado na plataforma móvel para o monitoramento de imagens

Código fonte utilizado na plataforma móvel para o monitoramento de imagens de fissuras em alvenaria ou em concreto, e também para o monitoramento de imagens de colônias em placa de Petri.

wpfImagemCapturar.xaml

```
Imports Microsoft.Phone.Tasks Imports System.Windows.Resources
Partial Public Class wpfImagemCapturar Inherits PhoneApplicationPage
Dim xCam As CameraCaptureTask
Public Sub New()
    xCam = New CameraCaptureTask() AddHandler xCam.Completed, AddressOf xCam.Completed
InitializeComponent() End Sub
Private Sub btnCapturarImagem_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs) Handles btnCapturarImagem.Click
Try
    xCam.Show() Catch ex As System.InvalidOperationException MessageBox.Show("An error occurred.") End Try
End Sub
Private Sub xCam_Completed(sender As Object, e As PhotoResult)
If e.TaskResult = TaskResult.OK Then
    MessageBox.Show(e.ChosenPhoto.Length.ToString())
    'Código para exibir a foto na página em um controle de imagem chamado myImage. Dim bmp As System.Windows.Media.Imaging.BitmapImage = New Sys-
```

```
tem.Windows.Media.Imaging.BitmapImage bmp.SetSource(e.ChosenPhoto) pc-
tImagem.Source = bmp
```

```
End If End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.
RoutedEventArgs) Handles Button1.Click
```

```
End Sub
```

```
End Class
```

EffectBase

```
Imports System.IO Imports Microsoft.Devices
```

```
Namespace Effects
```

```
Public MustInherit Class EffectBase Implements IEffect
```

```
Protected Sub GetARGB(ByVal xcolor As Integer, ByRef a As Integer, ByRef
r As Integer, ByRef g As Integer, ByRef b As Integer)
```

```
    a = CType((xcolor And &HFF000000) \& 24, Integer) r = CType((xcolor
And &HFF0000) \& 16, Integer) g = CType((xcolor And &HFF00) \& 8, Integer)
b = CType((xcolor And &HFF), Integer)
```

```
End Sub
```

```
Protected Function GetColorFromArgb(a As Integer, r As Integer, g As In-
teger, b As Integer) As Integer
```

```
    Dim result As Integer = ((a And 255) \& 24) Or ((r And 255) \& 16) Or ((g
And 255) \& 8) Or (b And 255)
```

```
Return result
```

```
End Function
```

```
Public Function ProcessImage(source() As Integer) As Integer() Implements
IEffect.ProcessImage Dim i() As Integer Return i End Function
```

```
End Class
```

```
End Namespace
```

```
Module1
```

```
Imports System.IO Imports Microsoft.Phone Imports System.IO.IsolatedStorage
```

```
Imports System.Windows.Resources Imports System.Windows.Media.Imaging Imports wPhoneColonias.Effects Imports wPhoneFissuras.Effects
```

Module Module1

```
Public xtBlack As Integer Public xtWhite As Integer Public xLimiar As Integer Public xImagemCapturada As System.IO.Stream

Public Function ConvertImage(ByVal bitMap As System.Windows.Media.Imaging.WritableBitmap) As System.IO.Stream

    Dim GrayScale As New GrayScaleEffect Dim gPixels() As Integer = GrayScale.ProcessImage(bitMap.Pixels)

    Dim imageToSave As System.Windows.Media.Imaging.WritableBitmap = New System.Windows.Media.Imaging.WritableBitmap(bitMap.PixelWidth, bitMap.PixelHeight) gPixels.CopyTo(imageToSave.Pixels, 0)

    Dim BlackWhite As New BlackWhiteEffect

    Dim Pixels() As Integer = BlackWhite.ProcessImage(imageToSave.Pixels)

    Pixels.CopyTo(imageToSave.Pixels, 0)

    Return SaveCapturedImage(imageToSave)

End Function

Function SaveCapturedImage(imageToSave As System.Windows.Media.Imaging.WritableBitmap) As System.IO.Stream

    Dim xStream As New MemoryStream imageToSave.SaveJpeg(xStream, imageToSave.PixelWidth, imageToSave.PixelHeight, 0, 100)

    xStream.Position = 0

    Return xStream

End Function

Public Function RotateStream(xStream As Stream, Angle As Integer) As Stream

    Angle = 90

    xStream.Position = 0 If (Angle > 360 Or Angle < 0) Then Throw New ArgumentException() End If
```

```
If (Angle = 360) Then Return xStream End If

Dim xBitmap As BitmapImage = New BitmapImage
xBitmap.SetSource(xStream)

Dim wbSource As WriteableBitmap = New WriteableBitmap(xBitmap) Dim
wbTarget As WriteableBitmap = Nothing

If (Angle = 180) Then

    wbTarget = New WriteableBitmap(wbSource.PixelWidth, wbSource.PixelHeight)

Else

    wbTarget = New WriteableBitmap(wbSource.PixelHeight, wbSource.PixelWidth)

    For x = 0 To wbSource.PixelWidth - 1 For y = 0 To wbSource.PixelHeight
    - 1 wbTarget.Pixels((wbSource.PixelHeight - y - 1) + x * wbTarget.PixelWidth)
    = wbSource.Pixels(x + y * wbSource.PixelWidth) Next

Next

Dim targetStream As MemoryStream = New MemoryStream
wbTarget.SaveJpeg(targetStream, wbTarget.PixelWidth,
wbTarget.PixelHeight, 0, 100) Return targetStream

End If

End Function

End Module
```

GrayScaleEffect

Namespace Effects

Public Class GrayScaleEffect Inherits EffectBase Implements IEffect

Public Function ColorToGray(Color As Integer) As Integer

Dim Gray As Integer = 0

Dim a, R, G, B As Integer

GetARGB(Color, a, R, G, B)

If R = G AndAlso G = B Then Gray = Color Else

Dim i As Integer = (7 * R + 38 * G + 19 * B + 32) ÷ 6

```
Gray = ((a And 255) \j 24) Or ((i And 255) \j 16) Or ((i And 255) \j 8) Or (i
And 255)

End If

Return Gray

End Function

Public Overloads Function ProcessImage(source() As Integer) As Integer() _
Implements Effects.IEffect.ProcessImage

Dim target() As Integer target = source

Dim i As Integer For i = 0 To source.Count - 1 target(i) = (ColorToGray(source(i)))
Next

Return target

End Function

End Class

End Namespace
```

BlackWhiteEffect

```
Namespace Effects Public Class BlackWhiteEffect Inherits EffectBase Imple-
ments IEffect

Private Function BlackWhite(Color As Integer) As Integer

Dim a, r, g, b As Integer

GetARGB(Color, a, r, g, b)

If r < xLimiar Then r = 255 g = 255 b = 255 xtWhite = xtWhite + 1 Else r
= 0 g = 0 b = 0 xtBlack = xtBlack + 1 End If

Dim result As Integer = GetColorFromArgb(a, r, g, b)

Return result

End Function

Public Overloads Function ProcessImage(source() As Integer) As Integer() _
Implements Effects.IEffect.ProcessImage

Dim target() As Integer
```

```
Dim xtBlack As Integer Dim xtWhite As Integer

target = source

Dim i As Integer For i = 0 To source.Count - 1 target(i) = (BlackWhite(source(i)))
Next

Return target

End Function

End Class End Namespace
```

```
MainPage.xaml Imports Microsoft.Phone.Tasks Imports System.IO Imports
System.Windows.Media.Imaging Imports Microsoft.Xna.Framework.Media Imports
System.IO.IsolatedStorage
```

```
Partial Public Class MainPage Inherits PhoneApplicationPage

Private pctImagem As Image Private r As Rectangle

Dim xCam As CameraCaptureTask

' Constructor Public Sub New()

xCam = New CameraCaptureTask() AddHandler xCam.Completed, Address-
sOf xCam_Completed

InitializeComponent() End Sub

Private Sub xCam_Completed(sender As Object, e As PhotoResult)

If e.TaskResult = TaskResult.OK Then

xImagemCapturada = RotateStream(e.ChosenPhoto, 90)

'Apresenta na tela do celular a imagem capturada. Dim bmp As System.Windows.Media.
Imaging.BitmapImage = New System.Windows.Media.Imaging.BitmapImage

bmp.SetSource(xImagemCapturada)

GravarImageStream(xImagemCapturada)

pctImagem.Source = bmp

WriteTemp(xImagemCapturada)

btnConverter.IsEnabled = True

End If
```


End Sub

```
Private Sub btnCapturar_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs) Handles btnCapturar.Click
```

```
Try xCam.Show() Catch ex As System.InvalidOperationException MessageBox.Show("Ocorreu um Erro ao acessar a camera") End Try
```

End Sub

```
Private Sub btnConverter_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs) Handles btnConverter.Click
```

```
xLimiar = lblVILimiar.Text
```

```
NavigationService.Navigate(New Uri("/Page1.xaml", UriKind.Relative))
```

End Sub

```
Private Sub btnMais_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs) Handles btnMais.Click
```

```
Dim xVal As Integer = 0 xVal = lblVILimiar.Text lblVILimiar.Text = xVal + 1
```

End Sub

```
Private Sub btnMenos_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs) Handles btnMenos.Click Dim xVal As Integer = 0 xVal = lblVILimiar.Text lblVILimiar.Text = xVal - 1 End Sub
```

```
Sub WriteTemp(element As System.IO.Stream)
```

```
Dim bitmap As New BitmapImage() bitmap.CreateOptions = BitmapCreateOptions.None bitmap.SetSource(element)
```

```
Dim wb As New WriteableBitmap(bitmap)
```

```
Using xStream As New MemoryStream wb.SaveJpeg(xStream, wb.PixelWidth, wb.PixelHeight, 0, 100) Using local As New IsolatedStorageFileStream("myImage444.jpg", FileMode.Create, IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication())
```

```
local.Write(xStream.GetBuffer(), 0, xStream.GetBuffer().Length) End Using End Using
```

End Sub

```
Sub WriteBitmap(element As FrameworkElement)
```

```
Dim t As Transform Dim wBitMap As New WriteableBitmap(element, t)
```

```
Using xStream As New MemoryStream wBitmap.SaveJpeg(xStream, element.Width,
element.Height, 0, 100) Using local As New IsolatedStorageFileStream("myImage.jpg",
FileMode.Create, IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication())
```

```
local.Write(xStream.GetBuffer(), 0, xStream.GetBuffer().Length) End Using
End Using
```

```
End Sub
```

```
Sub Carrega()
```

```
Dim file As IsolatedStorage.IsolatedStorageFile = IsolatedStorage.IsolatedStorageFile.
GetUserStoreForApplication()
```

```
Dim stream As New IsolatedStorage.IsolatedStorageFileStream("myImage.jpg",
FileMode.Open, file)
```

```
'Faz uma rotação na imagem, pois a câmera do Windows Phone grava numa
posição invertida. Dim image As New BitmapImage image.SetSource(RotateStream(stream,
90))
```

```
pctImagem.Source = image pctImagem.Stretch = Stretch.Fill
```

```
End Sub
```

```
Private Sub PhoneApplicationPage_Loaded(sender As System.Object, e As
System.Windows. RoutedEventArgs) Handles MyBase.Loaded
```

```
CarregaFormPrincipal()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnSelecionar_Click(sender As System.Object, e As System.Windows.
RoutedEventArgs) Handles btnSelecionar.Click btnConverter.IsEnabled = True
btnSelecionar.IsEnabled = False End Sub
```

```
Sub CarregaFormPrincipal()
```

```
Dim bi As New BitmapImage() ' BitmapImage properties must be in a Be-
ginInit/EndInit block
```

```
btnConverter.IsEnabled = False btnSelecionar.IsEnabled = False
```

```
pctImagem = New Image
```

```
grdImagem.Children.Clear() grdImagem.Children.Add(pctImagem)
```

```
bi.UriSource = New Uri("Images/Fundo.png", UriKind.RelativeOrAbsolute)
```

```
pctImagem.Source = bi pctImagem.Height = grdImagem.Height pctImagem.Width
```

```
= grdImagem.Width pctImagem.VerticalAlignment = Windows.VerticalAlignment.Stretch  
pctImagem.HorizontalAlignment = Windows.HorizontalAlignment.Stretch
```

```
End Sub
```

```
Sub GravarImageStream(e As MemoryStream)
```

```
    ' Create a file name for the JPEG file in isolated storage. Dim tempJPEG  
    As String = "TempJPEG"
```

```
    ' Create a virtual store and file stream. Check for duplicate tempJPEG  
    files. Dim myStore = IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication() If myS-  
    tore.FileExists(tempJPEG) Then myStore.DeleteFile(tempJPEG) End If
```

```
    Dim myFileStream As IsolatedStorageFileStream = myStore.CreateFile(tempJPEG)
```

```
    ' Create a new WriteableBitmap object and set it to the JPEG stream.
```

```
    Dim bitmap As New BitmapImage() bitmap.CreateOptions = BitmapCrea-  
    teOptions.None bitmap.SetSource(e)
```

```
    Dim wb As New WriteableBitmap(bitmap)
```

```
    ' Encode WriteableBitmap object to a JPEG stream. wb.SaveJpeg(myFileStream,  
    wb.PixelWidth, wb.PixelHeight, 0, 100) myFileStream.Close()
```

```
    ' Create a new stream from isolated storage, and save the JPEG file to the me-  
    dia library on Windows Phone. myFileStream = myStore.OpenFile(tempJPEG,  
    FileMode.Open, FileAccess.Read)
```

```
    ' Save the image to the camera roll or saved pictures album. Dim library As  
    New MediaLibrary()
```

```
    ' Save the image to the saved pictures album. Dim pic As Picture = li-  
    brary.SavePicture("MyImageOriginal.jpg", myFileStream)
```

```
    myFileStream.Close() End Sub End Class
```

Page1.xaml (para o aplicativo de monitoramento de colônias em placa de Petri)

```
Imports System.Windows.Media.Imaging Imports System.IO Imports Sys-  
tem.IO.IsolatedStorage Imports Microsoft.Xna.Framework.Media
```

```
Partial Public Class Page1 Inherits PhoneApplicationPage
```

```
Public Sub New() InitializeComponent() End Sub
```

```
Private Sub Page1_Loaded(sender As Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs)
Handles MyBase.Loaded
```

```
    'Salva a imagem no álbum de fotos. Dim image As New BitmapImage Using
local = New IsolatedStorage.IsolatedStorageFileStream("MyImage444.jpg", File-
Mode.Open, IsolatedStorage.IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication())
image.SetSource(local) End Using
```

```
    xtBlack = 0 xtWhite = 0
```

```
    Dim ImagemResultado As System.IO.Stream
```

```
    Dim xBmp As New WriteableBitmap(image)
```

```
    ImagemResultado = ConvertImage(xBmp)
```

```
    xBmp.SetSource(ImagemResultado)
```

```
    pctImagem.Source = xBmp
```

```
    Salvar(ImagemResultado)
```

```
    lblVIPixels.Text = xtBlack + xtWhite lblVIPixelsBranco.Text = xtWhite lbl-
VIPorcentagem.Text = String.Format("0:F3 %", (xtWhite / (xtBlack + xtWhite))
* 100)
```

```
End Sub
```

```
Sub Salvar(_Stream As MemoryStream)
```

```
    ' Criando um armazenamento isolado para recuperar a imagem posterior-
mente. Dim tempJPEG As String = "TempJPEG"
```

```
    ' Verifica a duplicidade do arquivo temporário. Dim myStore = IsolatedSto-
rageFile.GetUserStoreForApplication() If myStore.FileExists(tempJPEG) Then
myStore.DeleteFile(tempJPEG) End If
```

```
    Dim myFileStream As IsolatedStorageFileStream = myStore.CreateFile(tempJPEG)
```

```
    ' Configura o Objeto BitmapImage. Dim bitmap As New BitmapImage() bit-
map.CreateOptions = BitmapCreateOptions.None bitmap.SetSource(_Stream)
```

```
    Dim wb As New WriteableBitmap(bitmap)
```

```
    'Salva a imagem.
```

```
    wb.SaveJpeg(myFileStream, wb.PixelWidth, wb.PixelHeight, 0, 100) myFi-
leStream.Close()
```

```
    'Salva a imagem na biblioteca de mídia do Windows Phone. myFileStream
```

```
= myStore.OpenFile(tempJPEG, FileMode.Open, FileAccess.Read)

    Dim library As New MediaLibrary() Dim pic As Picture = library.SavePicture
("SavedPicture.jpg", myFileStream)

    myFileStream.Close() End Sub

End Class
```

Page1.xaml (para o aplicativo de monitoramento de fissuras em alvenaria ou em concreto)

```
Imports System.Windows.Media.Imaging Imports System.IO Imports System.IO.IsolatedStorage Imports Microsoft.Xna.Framework.Media

Partial Public Class Page1 Inherits PhoneApplicationPage

    Public Sub New() InitializeComponent() End Sub

    Private Sub Page1_Loaded(sender As Object, e As System.Windows.RoutedEventArgs)
Handles MyBase.Loaded

        ' Save the image to the saved pictures album. Dim image As New BitmapImage
Using local = New IsolatedStorage.IsolatedStorageFileStream("MyImage444.jpg",
FileMode.Open, IsolatedStorage.IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication())
image.SetSource(local) End Using

        xtBlack = 0 xtWhite = 0

        Dim ImagemResultado As System.IO.Stream

        Dim xBmp As New WriteableBitmap(image)

        ImagemResultado = ConvertToGrayscale(xBmp)

        xBmp.SetSource(ImagemResultado)

        pctImagem.Source = xBmp

        Salvar(ImagemResultado)

        lblVIPixels.Text = xtBlack + xtWhite lblVIPixelsBranco.Text = xtBlack lbl-
VIPorcentagem.Text = String.Format("0:F3 %", (xtBlack / (xtBlack + xtWhite))
* 100)

    End Sub

    Sub Salvar(xStream As MemoryStream)
```

```
' Create a file name for the JPEG file in isolated storage. Dim tempJPEG
As String = "TempJPEG"

' Create a virtual store and file stream. Check for duplicate tempJPEG
files. Dim myStore = IsolatedStorageFile.GetUserStoreForApplication() If myS-
tore.FileExists(tempJPEG) Then myStore.DeleteFile(tempJPEG) End If

Dim myFileStream As IsolatedStorageFileStream = myStore.CreateFile(tempJPEG)

' Create a new WriteableBitmap object and set it to the JPEG stream.
Dim bitmap As New BitmapImage() bitmap.CreateOptions = BitmapCreate-
Options.None bitmap.SetSource(xStream)

Dim wb As New WriteableBitmap(bitmap)

' Encode WriteableBitmap object to a JPEG stream. wb.SaveJpeg(myFileStream,
wb.PixelWidth, wb.PixelHeight, 0, 100) myFileStream.Close()

' Create a new stream from isolated storage, and save the JPEG file to the me-
dia library on Windows Phone. myFileStream = myStore.OpenFile(tempJPEG,
FileMode.Open, FileAccess.Read)

' Save the image to the camera roll or saved pictures album. Dim library As
New MediaLibrary()

' Save the image to the saved pictures album. Dim pic As Picture = li-
brary.SavePicture("SavedPicture.jpg", myFileStream)

myFileStream.Close() End Sub

End Class
```