

**LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE MONUMENTOS
ARQUITETÔNICOS PARA PROJETOS DE RESTAURAÇÃO -
ESTUDO DE CASO: PALACIO ITAMARATY- BRASÍLIA, DF**

PAOLA ANDREA FERNÁNDEZ CÓRDOBA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE MONUMENTOS
ARQUITETÔNICOS PARA PROJETOS DE RESTAURAÇÃO - ESTUDO
DE CASO: PALACIO ITAMARATY- BRASÍLIA, DF**

PAOLA ANDREA FERNÁNDEZ CÓRDOBA

**ORIENTADOR: ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO
CO-ORIENTADOR: LENILDO SANTOS DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO
CIVIL**

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2012

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE MONUMENTOS ARQUITETÔNICOS PARA
PROJETOS DE RESTAURAÇÃO - ESTUDO DE CASO: PALACIO ITAMARATY –
BRASÍLIA, DF**

PAOLA ANDREA FERNÁNDEZ CÓRDOBA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO, Dr. Ing. (ENC – UnB).
(Orientador)**

**Prof. LENILDO SANTOS DA SILVA (ENC - UnB)
(Co-orientador)**

**Prof. JOÃO CARLOS TEATINI DE S. CLÍMACO, PhD (ENC - UnB).
(Examinador Interno)**

**Prof. ARIVALDO LEÃO DE AMORIM, Dr.. (UFBA).
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, DE SETEMBRO DE 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

CORDOBA, PAOLA ANDREA FERNANDEZ.

Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos para Projetos de Restauração -
Estudo de Caso: Palácio Itamaraty – Brasília, DF [Distrito Federal] 2012.

xviii, 156p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2012).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fotogrametria

2. Levantamento

3. Monumentos

4. Palácio Itamaraty

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CÓRDOBA, P.A.F (2012). Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos. Estudo de Caso Palácio Itamaraty – Brasília, DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-016A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Paola Andrea Fernández Córdoba

TÍTULO: Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos para Projetos de Restauração. Estudo de Caso: Palácio Itamaraty - Brasília, DF

GRAU: Mestre ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Paola Andrea Fernández Córdoba
SQN 406 Bloco A. Apt. 301. Asa Norte.
CEP 70847-010 Brasília / DF, Brasil.
Email: paolafernandezc85@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me manter no caminho da verdade e da sabedoria, por me permitir cumprir mais um dos meus sonhos como profissional.

A minha amada filha Ana Catalina, a quem devo toda a minha vontade de viver, por quem tudo tem sentido, por quem sempre desejo ser melhor.

A meus pais, Cesar e Fabiola, que me derem a vida, todo seu amor e apoio para continuar avançando em busca de meus objetivos.

Aos meus irmãos, Claudia Ximena, Mireya e Diego, que tem apoiado todas as minhas ideias e tem permanecido firme ao meu lado para me orientar em qualquer situação.

A meu amor, meu fiel companheiro, meu cúmplice e amigo, por sua compreensão, paciência e força.

A meu orientador o professor Antônio Nepomuceno e meu co-orientador Leonildo Santos da Silva pela ajuda e orientação nesta pesquisa que com seu profissionalismo e sábios conselhos me acompanharem neste processo.

Ao Professor Evangelos Christakou sempre prestativo e atencioso.

A toda a minha família, pela grande ajuda e apoio nesta aventura.

À família Tafurt Ruiz pelo apoio e impulso que me brindarem.

A meus amigos do PECC Tatiana, Yina, Manuel Alejandro, Larisa, Marilia, Alejandro, David, Juan pela companhia nas longas horas de estudo, os tantos risos e momentos que compartilhamos. Obrigada especialmente a Maria del Pilar por seu apoio incondicional, e sua amizade sem limites.

Ao professor Arivaldo Amorim pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

À professora Natalie Groetelaars quem ministrou o curso de Fotogrametria Arquitetônica na cidade de Salvador, aportando para o aprendizado da técnica utilizada.

Ao Arquiteto Antônio Motta chefe do Setor de Arquitetura e Engenharia do Ministério das Relações Exteriores pelas informações fornecidas e a disposição e ajuda.

A Rodolpho de Oliveira Gondim pela colaboração prestada no levantamento Aéreo e Eduardo Lavocat por sua cooperação para a execução do levantamento terrestre.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil pelos conhecimentos e contribuições.

À Universidade de Brasília pela grande oportunidade oferecida e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq pelo apoio financeiro vital para alcançar este objetivo.

*Dedico este trabalho a minha filha Ana Catalina
que Deus, em Sua bondade suprema,
colocou em meu caminho...*

Te Amo Linda

AUTORA: PAOLA ANDREA FERNÁNDEZ CÓRDOBA

TÍTULO: LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE MONUMENTOS ARQUITETÔNICOS PARA PROJETOS DE RESTAURAÇÃO - ESTUDO DE CASO: PALÁCIO ITAMARATY – BRASÍLIA - DF

CURSO: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

DATA DEFESA: 14 DE SETEMBRO DE 2012

ORIENTADOR: PROF. ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO

CO-ORIENTADOR: PROF. LENILDO SANTOS DA SILVA

RESUMO

O monumento arquitetônico é, talvez, o que apresenta maior complexidade na elaboração de um projeto de restauração, já que requer uma documentação acurada que permita caracterização, reconhecimento e representação dos elementos significativos que o conformam. Isso converte os trabalhos de restauração em uma disciplina que necessita a colaboração de várias ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e salvaguarda do patrimônio monumental. O presente trabalho propôs o uso da fotogrametria a curta distância e a sua utilização como ferramenta de apoio de veículos aéreos não tripulados (VANT's) com câmaras digitais de pequeno formato como alternativa para levantamentos arquitetônicos porque possibilita estudar a forma e as dimensões de um objeto usando fotografias. Baseia-se na reconstrução de uma edificação a partir de imagens bidimensionais do mesmo, convertendo-se em uma prática e versátil para os problemas de levantamento mais frequentes como ausência ou má conservação da documentação do projeto. Este fato que impede muitas vezes que se recolha a informação necessária para o desenvolvimento do projeto de restauração especialmente na etapa inicial. Está técnica foi aplicada para o levantamento do Palácio Itamaraty em Brasília obtendo-se medidas, desenhos e modelos tridimensionais com ajuda do software *PhotoModeler*, além de comprovar a precisão da técnica por meio da comparação das medidas obtidas com os projetos originais disponíveis.

Palavras- chaves: Fotogrametria Arquitetônica, Fotogrametria Cadastral, Fotogrametria de Curta Distância, Documentação de Monumentos, Palácio Itamaraty.

AUTHOR: PAOLA ANDREA FERNÁNDEZ CÓRDOBA.

TITLE: PHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF ARCHITECTURAL MONUMENTS FOR RESTAURATION PROJECT.CASE STUDY: ITAMARATY PALACE - BRASILIA, DF.

COURSE: MASTER'S DEGREE IN STRUCTURES AND CONSTRUCTION

DATE OF THE EXAM: SEPTEMBER 14, 2012

SUPERVISION: ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO

CO- SUPERVISION: LENILDO SANTOS DA SILVA

ABSTRACT

The architectural monument is perhaps what is more complex in the development of a restoration project, as it requires an accurate documentation enabling characterization, recognition and representation of the significant elements of our program. This converts the restoration work in a discipline that requires the collaboration of various sciences and techniques which can contribute to study and protection of heritage monument. This paper proposed the use of photogrammetry at close range as a tool to support unmanned aerial vehicles (UAV's) with digital cameras from small format and as an alternative to architectural surveys because allows to study the shape and dimensions of an object using photographs.

It relies on the reconstruction of a building from two-dimensional images of the same, becoming a practical and versatile tool for the frequently lifting problems as absence or poor maintenance of project documentation. This fact often hamper collecting the needed information for development of the restoration project especially in the first stage. This technique was applied in the lifting of Itamaraty Palace in Brasilia obtaining measurements, drawings and three-dimensional models with PhotoModeler software help, besides proving the accuracy of the technique by comparing the measurements obtained with the original designs available

Keywords: Architectural Photogrammetry, Photogrammetry Cadastral, Short Range Photogrammetry, Documentation of Monuments, Itamaraty Palace.

SUMARIO

1- INTRODUÇÃO	1
1.1 - JUSTIFICATIVA	3
1.1 - OBJETIVOS	5
1.1.1 - Objetivo Geral	5
1.1.2 - Objetivos Específicos	5
1.2 - ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 - PRESERVAÇÃO DE MONUMENTOS	7
2.1.1 - Conceitos Básicos	7
2.2 - PROJETO DE RESTAURAÇÃO	9
2.2.1 - Levantamento Físico Detalhado	11
2.2.3 - Mapa de Danos	15
2.3 - FOTOGRAMETRIA	16
2.3.1 - Conceito	16
2.3.2 - Divisão da Fotogrametria	17
2.3.3 - Processos Fotogramétricos	24
2.3.4 - <i>Software PhotoModeler</i>	34
2.4 – FOTOGRAMETRIA PARA RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS	38
2.4.1 - Antecedentes	38
2.4.2 - Aplicações no Levantamento Arquitetônico	41
2.4.3 - Precisão do Levantamento	45
2.4.5 Aplicações no Diagnóstico e Avaliação do Estado de Conservação	47
3- EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA	49
3.1 - DESCRIÇÃO DO LOCAL	55
3.2 - CALIBRAÇÃO DA CÂMARA	55
3.2.1 - Planejamento da Calibração	55
3.2.2 - Obtenção de Imagens	58
3.3 – TRABALHO DE CAMPO	60
3.3.1 - Planejamento	60
3.3.2 - Obtenção das Imagens	61

3.4 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS	62
3.4.1 Orientação	63
3.4.2 - Restituição Fotogramétrica	64
3.4.3 - Retificação e Ortofotos	66
3.5 - VETORIZAÇÃO, COM AUTOCAD.	67
3.6 - DESCRIÇÃO DO ESTUDO PILOTO	69
3.6.1 - Auditório de Musica UnB	69
3.6.2 - Avaliação do Local	70
3.6.3 - Calibração da Câmara	71
3.6.4 - Tomada Fotografica	74
3.6.6 Processamento de Imagens e Resultados	76
4- ESTUDO DE CASO	79
4.1- PALACIO ITAMARATY	79
4.2 - AVALIAÇÃO DO LOCAL	82
4.3 - CALIBRAÇÃO DA CÂMARA	84
4.4 - TOMADA FOTOGRÁFICA	86
4.6 - RESTITUIÇÃO	91
4.7 - VETORIZAÇÃO NO AUTOCAD	105
4.8 - ANÁLISE DE RESULTADOS	118
4.8.1 – Erros encontrados no Processo	118
4.8.2 – Comparação plantas originais com resultados obtidos	119
4.8.3 Comparação entre a câmara Nikon D 700 e a câmara Panasonic GF2 (Levantamento terrestre).	124
4.8.4 - Comparação entre a câmara Panasonic GF2 e a câmara Sony Nex C3 (Levantamento aéreo).	126
4.8.5 – Avaliação do Estado Atual de Conservação	126
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	128
5.1 - CONCLUSÕES	128
5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

APÊNDICE	140
APÊNDICE A	141
A - ESTUDO COMPLEMENTAR	141
A.1 – TRABALHO DE CAMPO	141
A.1.1 Planejamento	141
A.1.2 - Tomada Fotográfica	142
A.2 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS E RESULTADOS	147
A.4 - LEVANTAMENTO AÉREO	151
APÊNDICE B	154
B - PLANTAS ORIGINAIS PALACIO ITAMARATY UTILIZADAS	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Classificação da fotogrametria	18
Figura 2. 2 - Proposta de classificação da fotogrametria	20
Figura 2. 3 - Restituídor Analógico.....	20
Figura 2. 4 - Restituídor Analítico	21
Figura 2. 5 - Equipamentos da Fotogrametria Digital.....	22
Figura 2. 6 - Fator de corte. (a) Imagem tirada com uma câmara full frame. (b) Imagem tirada com uma câmara com fator de corte 1.6.	23
Figura 2. 7 - Efeitos da distorção radial simétrica. (a) Lente sem distorção. (b) Efeito barril. 25	25
Figura 2. 8 - Sistema do Espaço Objeto (X, Y e Z) e Ângulos de Atitude (ω , ϕ , e κ).....	26
Figura 2. 9 - Posicionamento da câmara na monorrestituição	27
Figura 2. 10 - Estereopar. (a). Imagem Direita. (b). Imagem esquerda.	28
Figura 2. 11 - Produto da esterestituição (Desenho da fachada).....	28
Figura 2. 12 - Base estéreo e a distância para o objeto na tomada estereofotogramétrica.....	29
Figura 2. 13- Exemplos de diferentes tomadas fotográficas na restituição de várias fotografias (GROTERLAARS, 2004).	30
Figura 2. 14 – Retificação de imagens. (a) Projeção central (b) Projeção ortogonal.....	31
Figura 2. 15 - Processo de criação de ortofotos digitais. (GROETERLAARS, 2004, adaptado de WIEDEMANN, 1998).....	33
Figura 2. 16 - Erro Residual e <i>Tightness zero</i>	36
Figura 2. 17 - Gráfico representativo de cada processo.	38
Figura 2. 18 - (a) A Catedral de Wetzlar (Alemanha), setembro de 1858 (b) Primeira câmara de Meydenbauer (Construída em 1867) (ALBERTZ, 2001).	39
Figura 2. 19 - Visão frontal da Igreja de São Miguel Arcanjo.....	42
Figura 2. 20 - Fachada Principal Museu Paranaense e Desenho Vetorial.....	42
Figura 2. 21 - Fachada Principal e Desenho Vetorial	43
Figura 2. 22 - Desenhos CAD com imagens retificadas	43
Figura 2. 23 - Castelo de Garcia d’Ávila – Ruínas Fachada Oeste.....	43
Figura 2. 24 - Restituição fotogramétrica Castelo de Garcia d’Ávila – Ruínas Fachada Oeste.	44
Figura 2. 25 - Ortofoto colorida, executada em 1994, pela ESTEIO, em Curitiba. Castelo de Garcia d’Ávila – Ruínas Fachada Oeste.	44

Figura 2. 26 – Pelourinho. Ortofoto no formato JPG.....	45
Figura 2. 27 – Pelourinho. Desenhos vetoriais em formato DWG.	45
Figura 2. 28 - Desenho produzido no AutoCAD (vetorização).	47
Figura 2. 29 - Produto final: Mapa de danos.....	48
Figura 3. 1 - Câmara Nikon D700.....	49
Figura 3. 2 - Câmara Panasonic Lumix GF2.....	50
Figura 3. 3- Câmara Sony Nex – C3	51
Figura 3. 4- VANT utilizado	52
Figura 3. 5– VANT hexacóptero utilizado.....	53
Figura 3. 6- Fluxograma da Metodologia Utilizada.....	54
Figura 3. 7- Folha de Calibração Método Single – Sheet	56
Figura 3. 8- Folha de Calibração Método Multi – Sheet.....	57
Figura 3. 9- Arranjo retangular para Calibração tipo Multi – Sheet.	57
Figura 3. 10- Tomada Fotográfica para Calibração com 6 fotos	58
Figura 3. 11- Tomada Fotográfica para Calibração com 8 fotos	59
Figura 3. 12- Tomada fotográfica para calibração com 12 fotos	59
Figura 3. 13- Posições da câmera para captura de objetos.....	61
Figura 3. 14- Erro associado às posições da câmera: (a) posição da câmera em estações colocadas perto do ângulo reto; (b) posição da câmera em estações com pouca separação angular.....	62
Figura 3. 15 - Vetores de Erro apresentados em cada alvo de calibração.....	63
Figura 3. 16- Restituição Fotogramétrica. Fundação Hansen Bahia. Cachoeira – Bahia.	65
Figura 3. 17- Ortofoto da Fundação Hansen Bahia. Cachoeira – Bahia, gerada no <i>PhotoModeler</i>	67
Figura 3. 18- Vetorização no AutoCAD. (a) Traçado de características na ortofoto.....	68
Figura 3. 19 - Auditório de Música. (a). Fachada Principal (b). Fachada Direita (c). Vista Superior. Fonte: http://maps.google.com (d). Fachada Esquerda e. Fachada Posterior.....	69
Figura 3. 20 - Vista Frontal e Isométrica das placas pré-moldadas.....	70
Figura 3. 21- Principais Obstáculos (a) e (b). Presença de árvores que impedem boa visibilidade, (c) e (d). Distância Câmera – Objeto Insuficiente.	71
Figura 3. 22- Fotografias Calibração multi-sheet.....	72
Figura 3. 23- (a) Início do Processo de Calibração (b) Processo de Calibração em Andamento.	72

Figura 3. 24- Fotografias tomadas para a Fachada Principal	74
Figura 3. 25- Fotografias tomadas para a Fachada Esquerda.....	75
Figura 3. 26 - Fotografias tomadas para a Fachada Posterior	75
Figura 3. 27 - Fotografias tomadas para a Fachada Direita.	76
Figura 3. 28- Restituição do Auditorio de Música da UnB.....	76
Figura 3. 29- Aplicação de texturas	77
Figura 3. 30 - Modelo melhorado no AutoCAD.	78
Figura 4. 1- Palácio Itamaraty. Foto da autora (2012).	79
Figura 4. 2 - Fachada Principal Palácio Itamaraty. Foto da autora (2012).	80
Figura 4. 3– Arcos externos e internos.....	80
Figura 4. 4- Fachada principal pilares externos e internos.....	81
Figura 4. 5 - Planta Palácio Itamaraty, identificação de Obstáculos. Modificada	82
Figura 4. 6 - Distância insuficiente câmara - fachada C	83
Figura 4. 7 - Presença de vegetação Zona I.....	83
Figura 4. 8 - Presença de vegetação Zona II	83
Figura 4. 9 - Presença de vegetação Zona III.....	84
Figura 4. 10 - Presença de vegetação Zona IV.....	84
Figura 4. 11 – Plano de distribuição das estações fotográficas.....	86
Figura 4. 12 - Fotografias da fachada principal	87
Figura 4. 13 - Fotografias da fachada posterior	89
Figura 4. 14 - Fotografias da fachada esquerda.	90
Figura 4. 15 - Fotografias da fachada direita.	90
Figura 4. 16 - Fotos da cobertura	91
Figura 4. 17 - Marcação das feições nas diferentes fotografias.	92
Figura 4. 18 - Marcação dos arcos.	93
Figura 4. 19- Erro total do primeiro processamento.	94
Figura 4. 20 - Definição da escala para orientação externa	95
Figura 4. 21 - Definição de eixos X, Y, Z.....	96
Figura 4. 22 - Palácio Itamaraty em Estrutura de Arame. Fachada direita (verde), Fachada principal (laranja), Fachada esquerda (vermelha), Fachada posterior (roxa).....	96
Figura 4. 23- Aplicação de textura nos pilares.....	98
Figura 4. 24- Modelo com texturas	99

Figura 4. 25- Ortofoto fachada principal.....	99
Figura 4. 26- Ortofoto fachada posterior.....	99
Figura 4. 27- Ortofoto fachada direita.....	99
Figura 4. 28- Ortofoto fachada esquerda.....	100
Figura 4. 29- Modelo com texturas (fachadas e cobertura).....	100
Figura 4. 30- Imagem obtida da cobertura	101
Figura 4. 31 - Fotografias utilizadas para a restituição da cobertura	103
Figura 4. 32 - Cobertura em estrutura de arame.....	103
Figura 4. 33 - Ortofoto da cobertura	104
Figura 4. 34- Alçado da fachada principal pela reprodução dos pilares.	105
Figura 4. 35- Fachada principal com a ortofoto completa	106
Figura 4. 36- Fachada esquerda obtido da vetorização no AutoCAD.....	107
Figura 4. 38 - Fachada direita obtido da vetorização no AutoCAD.....	109
Figura 4. 39- Fachada posterior obtido da vetorização no AutoCAD.....	110
Figura 4. 40 - Desenho cobertura produto da vetorização no AutoCAD, a partir do levantamento aéreo com a câmara Sony Nex – C3.....	111
Figura 4. 41 - Mapa de danos fachada esquerda	113
Figura 4. 42 - Mapa de danos fachada direita	114
Figura 4. 43 - Mapa de danos fachada posterior	115
Figura 4. 44 - Mapa de danos fachada principal	116
Figura 4. 45 - Mapa de danos cobertura.....	117
Figura 4. 46 - Medições consideradas para as fachadas.....	120
Figura 4. 47 - Medições efetuadas em campo.....	123
Figura 4. 48 - Fotografias utilizadas para a restituição da fachada posterior. (a) Fotos tiradas com a câmara Nikon D700. (b) Fotos tiradas com a câmara Panasonic GF2.....	124
Figura A. 1 - Distribuição das estações fotográficas câmara Panasonic GF2.....	141
Figura A. 2 - Fotografias fachada principal.....	143
Figura A. 3 - Fotografias fachada direita.....	144
Figura A. 4 - Fotografias fachada esquerda.....	145
Figura A. 5 - Fotografias fachada posterior	146
Figura A. 6 - Ortofoto da fachada principal	147
Figura A. 7 - Ortofoto da fachada direita.....	147

Figura A. 8 - Ortofoto da fachada esquerda	148
Figura A. 9 - Modelo tridimensional em estrutura de arame.	148
Figura A. 10 - Modelo tridimensional com texturas.	148
Figura A. 11 - Modelagem incompleta da fachada posterior.	149
Figura A. 12 - (a) Pilares lado esquerdo. (b) Pilares lado direito.	149
Figura A. 13 - Modelo tridimensional completo em estrutura de arame.	150
Figura A. 14 - Fotografias utilizadas para a restituição da cobertura	151
Figura A. 15 - Modelo em estrutura de arame cobertura. Levantamento câmara Panasonic GF2	152
Figura A. 16 - Ortofoto cobertura. Levantamento Câmara GF2	153
Figura B. 1 - Fachada Palácio. Desenho Original.	154
Figura B. 2 - Planta de Locação Palácio Itamaraty. Prédio Representativo.....	155
Figura B. 3 - Cobertura.	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Síntese de métodos relacionados à suas respectivas indicações	15
Tabela 3. 1 - Especificações Câmara Nikon D700.....	49
Tabela 3. 2 - Especificações câmara Panasonic Lumix GF2	50
Tabela 3. 3 - Especificações câmara Sony Nex – C3.....	51
Tabela 3. 4 – Características do VANT - Avião utilizado	52
Tabela 3. 5 – Características do VANT – Hexacóptero utilizado.....	53
Tabela 3. 6 - Resultados da Calibração	73
Tabela 4. 1 - Parâmetros de calibração fornecidos pelo fabricante. Nikon D 700.....	85
Tabela 4. 2 - Resultados da calibração <i>PhotoModeler</i> . Nikon D700.....	85
Tabela 4. 6 - Tipos de Superfície no <i>PhotoModeler</i> . Modificada.	97
Tabela 4. 7 - Medidas efetuadas no desenho original.	120
Tabela 4. 8 - Medidas efetuadas da cobertura no desenho original	121
Tabela 4. 9 - Medidas efetuadas no desenho da fachada principal no <i>PhotoModeler</i>	121
Tabela 4. 10 - Medidas efetuadas no desenho da fachada direita no <i>PhotoModeler</i>	121
Tabela 4. 11 - Medidas efetuadas no desenho da fachada esquerda no <i>PhotoModeler</i>	121
Tabela 4. 12 - Medidas efetuadas no desenho da fachada posterior no <i>PhotoModeler</i>	121
Tabela 4. 13 - Diferenças percentuais calculadas entre os desenhos originais e o modelo produzido no <i>PhotoModeler</i>	122
Tabela 4. 14 - Diferenças em percentagem calculadas entre o desenho original da cobertura e o modelo produzido no <i>PhotoModeler</i> com a câmara Sony Nex – C3	122
Tabela 4. 15 - Diferenças em percentagem calculadas entre o desenho original da cobertura e o modelo produzido no <i>PhotoModeler</i> com a câmara Panasonic GF2	122
Tabela 4. 16 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada principal.	125
Tabela 4. 17 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada direita	125
Tabela 4. 18 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada esquerda.	125

Tabela A. 1 - Medições efetuadas na fachada principal.....	150
Tabela A. 2 - Medições efetuadas na fachada esquerda.....	150
Tabela A. 3 - Medições efetuadas na fachada direita.....	150
Tabela A. 4 - Medições efetuadas no modelo	152

LISTA DE SIGLAS, SIMBOLOS E ABREVIATURAS.

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

ASPRS – Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto

B – Distância entre Estações

CAD – Computer Aided Design (Projeto Auxiliado por Computador)

CCD – Charge Coupled Device

CIPA – Comitê Internacional de Fotogrametria Arquitetônica

CMOS – Complementary Metal Oxide Semiconductor

D_f – Distância Focal

D_h – Distância Horizontal

D_{oc} – Distância entre a Câmara e o Objeto

EUA – Estados Unidos de América

E_f – Escala Fotogramétrica

E_r – Escala de Representação

GPS – Sistema de Posicionamento por Satélite

ICOMOS – Conselho Internacional de Monumentos e Sítios

ISP – Sociedade Internacional de Fotogrametria

ISPRS – Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto

K₁, K₂, K₃ – Parâmetros de Distorção Radial Simétrica

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

P_1, P_2 – Parâmetros de Distorção Descentrada.

RAD – Ringed Automatically Detected

UnB – Universidade de Brasília

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

ω, Φ, κ – Ângulos de Rotação.

θ – Ângulo de Visão da Câmara

1- INTRODUÇÃO

O presente trabalho pertence à linha de pesquisa de Patologia, Manutenção e Recuperação de Estruturas do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, permitindo por meio da aplicação da técnica da Fotogrametria digital o fornecimento de informações métricas para projetos de restauração de monumentos.

A palavra monumento aplicada às obras de arquitetura passa a designar um edifício construído para eternizar a lembrança de coisas memoráveis, ou concebido, erguido ou disposto de modo que se torne um fator de embelezamento e de magnificência nas cidades. A ideia de monumento está mais ligada ao efeito produzido pelo edifício que ao seu fim ou destinação (YANAGA, 2006).

Os monumentos modernos se caracterizam por sua arquitetura inovadora e imaginativa, que reúnem plena harmonia entre volumes, espaços e formas, pelo que devem ser objeto de cuidados especiais que visem salvaguardar a integridade das suas características originais de modo fiel a seu aspecto físico, significado histórico e cultural e assegurar seu saneamento, sua proteção e valorização.

Na preservação dessas características, se propõem trabalhos de restauração que sempre deverão estar acompanhados de uma documentação precisa da geometria, fachadas, ambientes e detalhes construtivos ou decorativos, materiais, técnicas construtivas, etc. (OLIVEIRA, 2005) e cumprir com as exigências do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) que especifica que um monumento só poderá ser restaurado e protegido quando esteja devidamente documentado.

No entanto, o registro documental encontra algumas dificuldades na sua realização; a conservação precária das plantas de estruturas, ausência dos registros técnicos, certificados de controle de materiais, diários de obra e intervenções efetuadas, impedem obter informação completa causando que a representação dos elementos significativos indispensáveis à caracterização e ao reconhecimento das construções seja mais complexa.

“A restauração constitui uma disciplina que reclama a colaboração de todas as ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e salvaguarda do patrimônio monumental”

Artigo 2º. Carta de Veneza 1964.

Portanto, propõem-se a aplicação da Fotogrametria à curta distância para a documentação de edificações, utilizando equipamentos de menor custo e de uso geral como computadores e câmeras digitais, aliada a ferramentas mais simples e fáceis de utilizar como software de restituição digital que amplia significativamente suas áreas de aplicação.

Além disso, salienta-se a importância de ferramentas auxiliares como programas CAD e o uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's) que complementam a pesquisa permitindo obter informações e produtos de muito boa qualidade.

A edificação usada como estudo de caso foi o Palácio Itamaraty, obra emblemática que pertence a um dos conjuntos arquitetônicos mais admirados do mundo - a modernista Brasília projetada pelo Arquiteto Oscar Niemeyer. Neste edifício ele projetou uma estrutura prismática composta de pilares com arcos perfeitos. Com a aplicação da técnica se obtém sua representação e visualização em dois e três dimensões, geometria, grandezas lineares, texturas, cores, etc., informação necessária ao planejamento da restauração, intervenções conscientes, avaliação do estado atual de conservação com a produção de fotos retificadas para a representação visual das degradações, ajustando-se às exigências de hoje em dia, em quanto à rapidez, precisão e flexibilidade.

É clara a necessidade da expansão do conhecimento a respeito da Fotogrametria a profissionais como arquitetos, engenheiros e restauradores, pois se trata de uma importante ferramenta para a documentação e divulgação de bens patrimoniais e arquitetônicos.

1.1 - JUSTIFICATIVA

O monumento arquitetônico é, talvez, o que apresenta maior complexidade na elaboração de um projeto de restauração, já que é um trabalho que tem por objetivo conservar e relevar os valores estéticos e históricos, fundamentando-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos. É uma operação que deve ter caráter excepcional (CARTA DE VENEZA, 1964).

Assim, na hora de abordar um projeto de restauração é essencial realizar um estudo preliminar do monumento, com base no estudo da documentação histórica existente, avaliação e inspeção visual, e, finalmente a análise da documentação planimétrica, a fim de coletar toda a informação que permita garantir as características originais de modo fiel a seu aspecto físico, histórico e cultural.

O presente trabalho procura discutir, analisar e viabilizar o uso da Fotogrametria à curta distância com ferramentas digitais para o registro e a documentação de monumentos, oferecendo uma solução prática, versátil e as vezes única para a resolução de problemas de levantamento arquitetônico, permitindo obter informação mesmo em partes inacessíveis as suas dimensões usando fotografias.

A Fotogrametria tem sido recomendada pelo Comitê Internacional de Conservação e Restauração de Monumentos e Sítios (ICOMOS/UNESCO) como uma poderosa técnica para a obtenção de medidas, desenhos e modelos tridimensionais, permitindo a restituição de diversos tipos de objetos, detalhes, edificações e conjunto de fachadas de diferentes tamanhos e níveis de complexidade.

Apresenta uma série de vantagens com relação às formas tradicionais de levantamento (como medição direta e levantamento topográfico), dentre as quais podem ser citadas: rapidez, flexibilidade, facilidades operacionais, minúcia dos detalhes registrados e baixos custos. Além de fornecer informações importantes para a avaliação do estado de conservação, assim como também se podem referenciar as degradações apresentadas pelos elementos levantados.

A praticidade da técnica foi avaliada no monumento: Palácio Itamaraty, obra de grande importância para a arquitetura brasileira por seus valores estéticos, históricos, e culturais, sua integridade física e seu aspecto documental. Além de avaliar o estado atual de conservação

atuando como um instrumento de gestão da preservação do monumento e permitindo estabelecer uma ordem de prioridades nos planos de manutenção e restauração.

No entanto, Fotogrametria a curta distância fica limitada para algumas áreas das edificações como coberturas pelo que se propõem a utilização de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's), oferecendo a possibilidade de documentar estes elementos com boa precisão.

Este trabalho complementa os diversos estudos dos monumentos de Brasília que foram desenvolvidos na linha de pesquisa Patologia, Manutenção e Recuperação de Estruturas do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil entre os quais se podem destacar: o Palácio Itamaraty (SANTOS Jr, 2004), a Catedral de Brasília (Pessoa, 2002), o Palácio da Justiça (MOREIRA, 2007), o Instituto Central de Ciências (FONSECA, 2007), a Caxias e do Teatro Pedro Calmon (SILVA, 2008) e o Teatro Nacional (SOUZA, 2009), trabalhos abordados desde a ótica estrutural, intervenções efetuadas e propostas de manutenção.

1.1 - OBJETIVOS

1.1.1 - Objetivo Geral

Levantamento fotogramétrico do Palácio Itamaraty com ferramentas digitais e veículos aéreos não tripulados (VANT's) para fornecer documentação de projetos para atuações de restauração.

1.1.2 - Objetivos Específicos

- Conhecer o software *PhotoModeler* como ferramenta importante na elaboração de metodologias para documentação, conservação e restauração de monumentos e sítios arquitetônicos.
- Confrontar o levantamento fotogramétrico com os projetos originais existentes do edifício com a finalidade de avaliar a praticidade da fotogrametria digital para o fornecimento de informação métrica.
- Restituir os elementos da estrutura através da modelagem espacial, representando a realidade da edificação em meio digital.
- Geração de um mapa de danos por meio de ortofotos para identificação visual das degradações presentes na estrutura.
- Analisar a viabilidade da aplicação de VANT's como ferramenta de apoio para os levantamentos fotogramétricos terrestres.

1.2 - ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

O capítulo 1 – Introdução – explica amplamente a importância da utilização da fotogrametria digital suas vantagens e os produtos a serem obtidos. Além de salientar a importância da utilização dos VANT's como ferramenta de apoio para os levantamentos fotogramétricos terrestres.

O capítulo 2 – Revisão Bibliográfica – Neste capítulo é apresentado noções sobre conservação e restauração de monumentos arquitetônicos, o porquê de sua preservação, e dos processos metodológicos necessários para sua documentação. Posteriormente os conceitos sobre Fotogrametria, seus fundamentos, métodos de restituição e retificação e sua aplicação direta nas etapas de um projeto de restauração: levantamento e diagnóstico. Além de apresentar o programa *PhotoModeler* como software de restituição a ser utilizado na pesquisa.

O capítulo 3 - Equipamentos e Metodologia – expõe os procedimentos seguidos, os equipamentos utilizados e estudo piloto no qual são descritas cada uma das etapas do trabalho fotogramétrico desde o planejamento do levantamento até a obtenção dos produtos finais.

O capítulo 4 – Estudo de caso – Apresenta todos os processos levados a cabo para o estudo do Palácio Itamaraty, resultados como modelos tridimensionais, ortofotos, mapa de danos, além de apresentar os resultados obtidos com relação aos projetos originais.

O capítulo 5 – Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros – Analisa as vantagens e limitações da técnica permitindo inferir a viabilidade de sua aplicação nos trabalhos de restauração, além de apresentar as sugestões para trabalhos futuros.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - PRESERVAÇÃO DE MONUMENTOS

2.1.1 - Conceitos Básicos

A palavra monumento aplicada às obras de arquitetura segundo Choay (2001) citado por Yanaga (2006) passa a designar um edifício construído para eternizar a lembrança de coisas memoráveis, ou concebido, erguido ou disposto de modo que se torne um fator de embelezamento e de magnificência nas cidades. A ideia de monumento está mais ligada ao efeito produzido pelo edifício que ao seu fim ou destinação.

O monumento compreende a criação arquitetônica, bem como o sítio urbano ou rural que dá testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico (CARTA DE VENEZA, 1964). Assim, tendo em conta o seu papel fundamental na civilização devem-se preservar de modo fiel a seu aspecto físico, material, construtivo e significado histórico e cultural, mantendo a integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e do seu local.

A preservação de monumentos históricos engloba todas as ações que colaboram para sua manutenção garantindo a integridade de seus componentes e satisfazendo seu “*motivo de existir*” original (TOMAZ, 2010). No Brasil possui um sentido lato e pode abarcar uma grande variedade de ações como inventários, registros, leis de tombamento¹, educação patrimonial e intervenções nos bens, para que sejam transmitidos da melhor maneira possível ao futuro (KÜHL, 2010).

As intervenções abarcam diferentes formas de atuação. A manutenção, a conservação e a restauração são procedimentos que devem ser estudados para diferenciar o caráter de cada uma.

¹ Conjunto de ações, realizadas pelo poder público e fundamentado por legislação específica, que tem como objetivo preservar bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e também de valor afetivo para a população, impedindo a destruição e/ou descaracterização de tais bens. (GRUPO DE TRABALHO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARQUITETÔNICO – CREA - SP, 2008).

A manutenção é a primeira norma de conduta da preservação e é definida segundo a NBR 14037:1998 como o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes para atender as necessidades dos usuários. Este conceito já é mais bem tratado na NBR 5674:2012 onde além do exposto anteriormente a manutenção deve ser orientada a prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes por meio de intervenções rotineira, corretiva ou preventiva.

Por outro lado, Escalante (2010) considera a conservação como as operações cuja finalidade é adiantar e prolongar o maior tempo possível os materiais que constituem o objeto. As operações características podem ser a análise das causas de degradação, a prevenção da degradação, o controle das condições ambientais, etc.

Neste âmbito, note-se que as ações de conservação e manutenção são similares fato confirmado na Carta de Veneza (1964) que frisa a necessidade de conservação de um monumento através da sua manutenção permanente e dos elementos que o constituem e que a ele estarão associados. Para efeito, deste trabalho será adotado o termo manutenção para se referir a todas as ações encarregadas de recuperar parcialmente o desempenho buscando a desaceleração de sua degradação, de maneira a adiar o momento em que o limite do desempenho mínimo seja atingido.

Diante deste fato, a manutenção adquire uma importância significativa e para sua implementação requer serviços ligados à especificidade das técnicas construtivas, dos agentes de deterioração e das condições de viabilidade técnica. Além disso, a qualidade da mão de obra e o trabalho técnico devem também ser reforçados com uma melhor formação profissional das pessoas envolvidas.

Finalmente, a restauração, segundo a Carta de Veneza (1964), preocupa-se com a preservação dos monumentos visando sua transmissão para o futuro. Desta maneira, a restauração é uma operação que deve ter caráter excepcional, com o objetivo de conservar e relevar os valores estéticos e históricos do monumento, fundamentando-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos, buscando não apenas conferir-lhe estabilidade, mas recuperar, o mais possível, as informações nelas contidas.

Desta maneira o ato de manter e restaurar deve se basear em um projeto de restauração que deverá considerar uma gama de opções técnicas que incluam estratégias de longo prazo e

desenvolvimento de ferramentas orientadas para o trabalho com comprovada eficácia, desde que as tradicionais se revelem inadequadas quanto a custo e rapidez.

2.2 - PROJETO DE RESTAURAÇÃO

O projeto de restauração deverá basear-se num conjunto de opções técnicas apropriadas e ser elaborado segundo um processo cognitivo que integra a recolha de informações e a compreensão do edifício ou do sítio, deve ser feito sempre que uma edificação encontra-se degradada ou em mau estado de conservação. Este processo pode incluir o estudo dos materiais tradicionais, ou novos, o estudo estrutural, análises gráficas e dimensionais e a identificação dos significados histórico, artístico e sociocultural (CARTA DE CRACROVIA, 2000).

Nas estruturas de valor patrimonial devem-se salvaguardar as características próprias do imóvel, tendo o máximo cuidado para preservar o existente e não falsificar a leitura do valor preponderante. A execução de obras de restauração guarda em seu cerne aspectos que os diferenciam radicalmente das obras tradicionais. Esta afirmativa é válida tanto em relação aos processos construtivos quanto ao desenvolvimento do projeto de intervenção.

Este deve iniciar com uma pesquisa histórica e iconográfica, construída a partir de diversas fontes de informação: os registros oficiais (certidões, escrituras, decretos, plantas, etc.); a revisão bibliográfica (pesquisa na bibliografia disponível); fotos, desenhos, ilustrações antigas, etc.; a história oral; os artigos jornalísticos, periódicos e outras fontes possíveis, permitindo contextualizá-lo no momento em que foi construído e utilizado (CSEPCSÉNYI *et al*, 2006).

Porém, o cumprimento destes requerimentos apresentassem dificuldades como ausência dos registros técnicos, certificados de controle de materiais, diários de obra, intervenções efetuadas, conservação precária das plantas estruturas e arquitetônicas impedindo obter informação completa, fazendo com que a representação dos elementos significativos indispensáveis à caracterização e ao reconhecimento das construções seja mais complexa. Há casos em que a pesquisa simplesmente não consegue elucidar as dúvidas que surgiram e muitas vezes há que se dar por encerrada essa etapa mesmo quando ainda não se tem resposta para algumas perguntas.

Vencida a etapa de cadastramento, embora com limitações, parte-se para o levantamento cadastral e fotográfico do estado em que se encontra (*as found*), o qual é destinado ao registro gráfico do edifício (fotografia, medição e esboço) permitindo o registro fiel das irregularidades e imperfeições que o edifício apresenta e, também, dos detalhes dos elementos arquitetônicos, integrados e ornamentais presentes. Esta documentação constitui a base de dados para a conceituação, a formulação e o desenvolvimento do projeto de restauração (CAVALCANTI; AMORIM, 2006).

Num caso mais pontual como nas estruturas de concreto, o cadastramento é uma etapa que trata de estabelecer um plano de atuação para os problemas reais das estruturas. É necessário incluir tanto modificações da sua forma como qualquer intervenção estrutural anterior. Isso atingido por meio de vistorias especializadas e revisão do projeto estrutural através da identificação das ações atuantes e previstas, do desempenho estrutural e dos tipos de materiais, técnicas da construção empregadas e seu estado atual (SILVA, 2008).

À luz dessa documentação e iniciado o projeto de restauração que além de solucionar os problemas encontrados na edificação, visa adequá-la ao uso proposto, e trazer ao imóvel a sua unidade de concepção espacial, caso esta tenha sido perdida. Assim, a qualidade do projeto é condicionada pela precisão e pela fidedignidade das informações compiladas (CAVALCANTI; AMORIM, 2006).

Finalmente, chega-se à fase de diagnóstico a qual permite a identificação de todos os danos existentes na edificação auxiliando o profissional na tomada de decisões para a avaliação do estado de conservação e para o planejamento das intervenções a serem consideradas.

O diagnóstico compreende a identificação, a determinação da composição e avaliação das condições da edificação; a identificação, a natureza e extensão das alterações, a apreciação das causas da sua degradação e a determinação do tipo e extensão do tratamento necessário, assim como o estudo das informações existentes relacionadas (BRAGA, 2001).

É geralmente uma fase difícil, uma vez que os dados disponíveis frequentemente se referem a efeitos enquanto o que deve ser determinado é a causa – ou, como geralmente é o caso, as várias causas concomitantes. Por esse motivo que a intuição e a experiência são componentes essenciais no processo. Um diagnóstico correto é indispensável para uma

avaliação adequada da segurança e para decisões racionais sobre as medidas de tratamento a serem adotadas.

A necessidade do diagnóstico de danos é indicada em conferência internacional pela primeira vez na Carta de Atenas de 1931, na qual os especialistas aconselham unanimemente, antes de toda atuação, análise meticulosa das deteriorações que os afetam, reconhecendo, de fato, que cada caso constitui uma situação especial. Esta análise inicia com a identificação e localização das áreas afetadas por meio de documentos gráfico-fotográficos denominados mapas de danos, os quais sintetizam os danos físicos existentes (COSTA, 2010).

A seguir são apresentados os tipos de levantamentos mais importantes para a produção de informação métrica, suas limitações e vantagens, ferramentas utilizadas, entre outras considerações, além do conceito de mapa de danos como recurso de vital importância para a etapa de diagnóstico.

2.2.1 - Levantamento Físico Detalhado

O levantamento destinado ao registro gráfico de um edifício de importância histórica e cultural é realizado a partir de métodos específicos que permitem maior precisão na medição, gerando o registro fiel das irregularidades e imperfeições que o edifício apresenta e, também, dos detalhes dos elementos arquitetônicos. São instrumentos imprescindíveis para a execução de qualquer intervenção restaurativa sobre o monumento, representando um ponto básico da metodologia da manutenção e da restauração. Ele deve ser feito com registros precisos, que acontecem na fase cognitiva, cuja localização precisa é de suma importância para orientar as decisões futuras de projeto (OLIVEIRA, 2008).

Hoje, com as possibilidades advindas das tecnologias digitais novos horizontes se abrem para a complementação e o aprofundamento desse importante trabalho (AMORIM, 2008), sendo de vital importância na aquisição de informação para os edifícios antigos onde, na maioria das vezes, o estado de deterioração se torna um obstáculo para uma documentação satisfatória caso comum na maioria das edificações brasileiras, ou até mesmo para as construções recentes onde os projetos originais são escassos ou mesmo não representam a situação atual.

Assim, apresentam-se diversas técnicas para o levantamento de estruturas, onde a escolha do método a ser utilizado depende de fatores, como localização, extensão, precisão requerida,

forma de apresentação dos resultados e maior viabilidade de execução dentro dos custos e prazos determinados.

Os principais métodos de levantamento são:

- Medição Direta;
- Métodos Topográficos;
- *3D Laser Scanning Terrestre*;
- GPS;
- Fotografia;
- Fotogrametria Digital Terrestre.

O tipo do objeto e a finalidade do cadastro também são fatores determinantes para a escolha dos procedimentos e técnicas a serem adotados. Edificações de pequenas dimensões e com pouca complexidade podem ser levantadas facilmente com o método da medição direta. Já em construções complexas, de grandes dimensões, que requerem precisão elevada, devem ser adotados outros métodos mais eficazes e precisos como a Fotogrametria ou o *3D Laser Scanning*. O responsável pelo levantamento deve ter, portanto, o pleno domínio de todos os métodos, a fim de que possa decidir qual ou quais desses métodos empregar para cada caso específico (ALVARÉS, 2009).

2.2.2.1 - Métodos Diretos

Os métodos diretos são as técnicas mais comuns e antigas de levantamento. É efetuada com o auxílio de instrumentos simples de medição linear (trenas e escalas), combinadas com dispositivos de controle da verticalidade (fios de prumos de face e de centro) e da horizontalidade (níveis de mangueira e de pedreiro, também chamado de nível de bolha). São muito econômicos e simples, mas são os que mais exigem planejamento prévio. Trata-se de ferramentas que permitem realizar medições diretamente sobre o objeto, pelo que exigem o acesso a todos os pontos de interesse do objeto, entre os quais são realizadas as medições (ASTORQUI, 2005).

Porém, o método é lento e requer muito tempo para interpretação de croquis e elaboração de desenhos técnicos, principalmente nos casos de edificações complexas, podendo ocorrer também à propagação de erro no levantamento. Além disso, pode ser necessária a utilização

de equipamento adicional como andaimes ou recursos similares para aquisição de algumas medidas, tornando o processo demorado e/ou mais caro. (ALVARÉS, 2009).

2.2.2.2 - Métodos Topográficos

O método topográfico consiste em um conjunto de técnicas e processos que permitem a medição de ângulos e distâncias com a utilização de instrumentos adequados, dentre eles os teodolitos, os distanciômetros e as estações totais (ALVARÉS, 2009).

É um sistema de aquisição de dados que possibilita a determinação das coordenadas cartográficas de um conjunto de pontos que representem geometricamente um objeto, com rigor e aproximação necessária.

Neste tipo de levantamento, as medições devem estar amarradas a pontos locados anteriormente. Qualquer erro na medição desses pontos será propagado para a locação dos pontos posteriores.

As maiores desvantagens do método topográfico são: a necessidade de campos visuais que permitam a visualização dos pontos a ser levantada, a necessidade do uso de croquis, a lentidão para se obter formas de superfícies com grande número de pontos de interesse e o custo relativamente elevado do levantamento. Além disso, é uma técnica que não permite a obtenção dos dados em tempo real, uma vez que é necessário o processamento dos dados de campo e o posterior desenho (SANTOS, 2003).

Este método é utilizado por engenheiros e arquitetos para posicionamento das edificações com relação ao terreno, as plantas produzidas também podem ser trabalhadas com diversos softwares para gerarem modelos 3D.

2.2.2.3 - 3D Laser Scanning

O sistema de levantamento por varredura a laser é uma tecnologia desenvolvida nos últimos anos, primeiramente, para fins industriais, mas que tem se mostrado uma poderosa técnica de levantamento e modelagem de objetos de diversos tipos e situações, como tamanho e complexidade variados (centros urbanos, edificações, detalhes arquitetônicos, esculturas etc.). É um sistema de modelagem 3D das partes externas dos objetos, onde suas superfícies são representadas através de um conjunto de pontos que constituem um modelo geométrico do objeto (ALVARÉS, 2009).

O levantamento utilizando este método é caracterizado pela rapidez e precisão do trabalho, porém é uma tecnologia ainda cara e que pode ser dificultada devido à presença de obstáculos localizados próximo ao objeto levantado.

2.2.2.4 - GPS

O Sistema de Posicionamento por Satélite (Global Position System) é um sistema de navegação por satélite desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 70 e 80, e colocado em operação na década de 80. Pode ser usado em quaisquer condições meteorológicas para determinar posição (latitude, longitude e altitude), velocidade e tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto, sobre ou próximo, da superfície da terra (SOUZA *et al*, 2001).

A precisão e a rapidez desse método fazem do GPS um instrumento utilizado para diversas aplicações como, por exemplo, navegação, levantamentos cadastrais urbanos e rurais. Entretanto, não se presta para levantamento das superfícies das edificações, bem como para caracterizar o seu estado de conservação.

2.2.2.5 - Fotografia

A fotografia é parte essencial na documentação e no desenvolvimento de inventários. Através da fotografia é possível registrar aspectos particulares da obra, de difícil representação por outros métodos, pode auxiliar o serviço de levantamento no sentido da produção de croquis, quando não é necessário um desenho rigoroso em escala, servindo de base para anotações e observações. Também, para complementação de informações de um levantamento, como por exemplo, na representação de detalhes arquitetônicos e, por fim, para levantamento de formas planas ou com pouco relevo (fachadas, paredes etc.) (ASTORQUI, 2005).

2.2.2.6 - Fotogrametria

A Fotogrametria é uma técnica que pode ser considerada como uma técnica capaz de produzir um documento autêntico que consegue resgatar a forma exata do edifício, sendo referência para se observar o andamento de deformações estruturais, ocorrência de lacunas e degradações dos materiais. É por isto mesmo, uma técnica recomendada pelos organismos internacionais que congregam a comunidade dos restauradores (ALVARÉS, 2009). Dada sua

importância, e por ser amplamente utilizada no presente trabalho, esta técnica será estudada detalhadamente no item 2.3.

2.2.3 - Mapa de Danos

O mapa de danos é considerado um instrumento importante para o projeto de intervenção no edifício seja ele de restauração ou apenas algumas medidas preventivas para sua manutenção (CAMPELLO, 2008).

Existem inúmeros modelos de Mapas de Danos tantos quanto à criatividade dos profissionais possam superar. Entretanto, antes de tudo eles devem ter valor cognitivo, isto é, que devem ser claros e objetivos, para proporcionar todas as das informações necessárias e uma correta comunicação visual (TINOCO, 2009).

A metodologia de investigação quanto à representação dos danos esta avançando gradualmente de acordo com as experiências vivenciadas em prática e com os avanços tecnológicos, sendo de extrema importância a atualização dos profissionais que atuam na área de conservação do patrimônio, no desenvolvimento fundamental, prático e teórico para que seja utilizado da forma mais completa nos projetos de intervenção no patrimônio histórico de forma cada vez mais completa e eficaz (CAMPELLO, 2008).

O método utilizado irá interferir na profundidade de informações e aproximação da situação real. Cada situação envolvendo tipos diferentes de materiais construtivos e patologias exigirá uma postura investigativa diferente. A Tabela 2.1 apresenta os diferentes métodos e sua relação custo/benefício

Tabela 2. 1 - Síntese de métodos relacionados à suas respectivas indicações (CAMPELLO, 2008).

MÉTODO	INDICAÇÃO	PATOLOGIAS/ DANOS	RESULTADO	CUSTO / BENEFÍCIO
Fotogrametria Digital	Arquitetura de desenho complexo.	Todos os tipos	Excelente	Alto
Levantamento métrico clássico	Todos os tipos.	Todos os tipos	Regular	Médio
Misto	Todos os tipos.	Todos os tipos.	Excelente	Alto
Scanner digital	Todos os tipos.	Todos os tipos.	Excelente	Alto

Este custo/benefício será medido de acordo com a qualidade e exatidão dos resultados, desta forma destaque-se a Fotogrametria digital, que apesar de ter indicações similares a outros métodos com a evolução tecnológica das câmaras digitais, se consolida fortemente para este tipo de levantamento tornando-se uma técnica econômica e muito rápida.

2.3 - FOTOGRAMETRIA

2.3.1 - Conceito

A palavra Fotogrametria deriva de três palavras de origem grega, *photos*, *gramma* e *metron* que têm, respectivamente, o significado de: luz, descrição e medidas e define uma técnica desenvolvida no início do Século XIX e que se encontra em constante evolução de instrumentos e processos (VALENÇA, 2011).

A Sociedade Americana de Fotogrametria e Teledetecção (ASPRS, 1980) define Fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

Segundo Brito e Coelho (2002), é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e medições de imagens que tem como objetivo a reconstituição de espaço tridimensional (espaço objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço imagem).

Atualmente, a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS, 2009), definiu fotogrametria e detecção remota como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis a partir de imagens e outros sistemas ou sensores sem contato com o objeto, que atuam sobre a terra e seu ambiente por meio de gravação, medição, análise e representação.

Estas definições permitem o desenvolvimento de dois âmbitos:

O primeiro trata-se da fotogrametria interpretativa que tem o objetivo de reconhecer e identificar os objetos e julgar seu significado a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de imagens. Isso é possível por meio da fotointerpretação e teledetecção.

A fotointerpretação requer a análise de fotografias fundamentalmente pertencentes ao espectro visível e infravermelho próximo, enquanto a teledetecção utiliza informação originária de diferentes plataformas sensoriais, com maiores faixas espectrais: visíveis, infravermelho (próximo, médio, térmico), radar, etc. (CIERRE, 2008).

Por sua parte, a fotogrametria métrica é a técnica para estudar e definir com precisão a forma, distâncias, áreas, volumes, elevações, tamanhos, plantas altimétricas e planimétricas, mosaicos, ortofotos, dimensões e posição no espaço de um objeto qualquer (TEMBA, 2000). É nesse âmbito que se enquadra o principal interesse no desenvolvimento da presente pesquisa.

Assim, a fotogrametria métrica é, portanto, uma técnica para obter informação geométrica fidedigna e precisa de objetos físicos (VALENÇA, 2011).

Pode ser usada em qualquer situação que requeira a geração de dados ou de desenhos, fundamentando-se na observação do mesmo objeto de dois ou três ângulos diferentes, possibilitando a reconstituição de uma imagem espacial a partir de imagens bidimensionais, sejam a partir de uma imagem singular ou um conjunto de imagens, analógicas ou digitais, imagens passivas como fotografias, ou ativas como as imagens de radar (GROETELAARS, 2004).

Além disso, nos últimos tempos a fotogrametria métrica permite gerar imagens corrigidas de distorção e em projeção central, aptas para múltiplas aplicações cartográficas, produtos multimídia, visualizações e animações fotorrealistas, estudos ambientais, levantamentos arquitetônicos e arqueológicos, entre outras.

2.3.2 - Divisão da Fotogrametria

A Fotogrametria está dividida em categorias de acordo com o tipo de fotografias usadas (Aérea ou Terrestre) e quanto à evolução dos equipamentos e materiais envolvidos nos processos (Analógica, Analítica e Digital), conforme representado na figura 2.1.

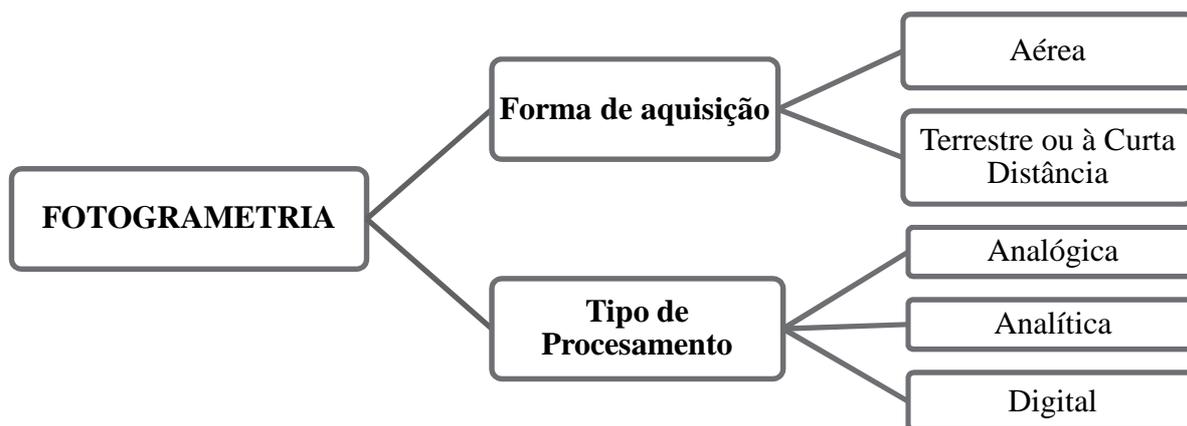


Figura 2. 1 - Classificação da fotogrametria (RIBEIRO, 2002).

2.3.2.1 - Segundo a forma de aquisição

Na Fotogrametria aérea as fotografias são tomadas por uma câmara de precisão montada numa aeronave ou espaçonaves, onde o eixo ótico pode ser vertical ou oblíquo.

As principais aplicações se apresentam especialmente para fins cartográficos na produção de mapas topográficos e/ou temáticos, modelos digitais de terreno, manutenção de estradas, projetos de gasodutos, linhas de transmissão, estudos geológicos ambientais e florestais (ANDRADE, 2003), conseguindo a produção de ortofotos, ortofotomosaicos e ortofotocartas, cartas planimétricas, cartas topográficas; mapas temáticos; modelo digital de superfície (MDS) e de terreno (MDT).

Na fotogrametria terrestre a câmara se encontra apoiada no terreno, o eixo ótico é horizontal e perpendicular ao objeto a ser fotografado. Foi inicialmente utilizada para cartografar áreas onde os métodos tradicionais de levantamento não eram apropriados pela estrutura complexa ou de medição muito difícil ou perigosa, ou aquelas que oferecem dificuldades por serem muito grandes ou muito pequenas (SANTOS, 2003).

Assim, de acordo as exigências de cada projeto e tendo em conta a distância câmara – objeto surge a seguinte divisão:

- Fotogrametria a Curta Distância: permite distancias normalmente de 0.1 até 300 m. No entanto na pratica se chega a verificar que a essa distância a precisão e a escala começam a não se adequar ocasionando erros consideráveis afetando o produto final e por isso recomendam-se máximas distancias de 100m. (SANTOS, 2003).

É totalmente baseada no princípio da fotogrametria convergente que se pretende que os raios de luz, das tomadas fotográficas, se intersectem num determinado ponto e formem entre eles um ângulo aproximado de 90° (VALENÇA, 2011).

Seu principal interesse é em aplicações de conservação de patrimônio histórico (arquitetônico – arqueológico), análise detalhada de fachadas de prédios, servindo para a recuperação de estruturas ou para trabalhos de arquitetura; medicina, indústria automobilística, reconstrução de acidentes de tráfego, na evolução de escavações ou explorações em minas ou reservas quaisquer, etc.

- Macrofotogrametria: É efetuada com dispositivos especiais de lentes de enfoque, aplicada em distâncias câmara – objeto de 1 a 10 cm.
- Microfotogrametria: As fotos são obtidas através de um microscópio. Distâncias câmara – objeto menor que 1 cm (GONÇALVES, 2006).

Uma das razões pela qual a Fotogrametria terrestre obteve tanto êxito nas áreas referidas deve-se ao fato de tornar possível a medição de objetos que não possam ser medidos diretamente sem lhes tocar, obtendo um fluxo de informações que, uma vez decifrados por especialistas e técnicos em sistemas de processamento, constituem uma importante ferramenta para a realização e controle de muitos aspectos da atividade prática do homem.

Atualmente é possível ainda considerar a possibilidade de realizar fotogrametria mista com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), os quais podem realizar a tomada de fotografias de coberturas e, eventualmente, partes de difícil acesso em solo. Do exposto, propõe-se alterar classificação apresentada na Figura 2.1, acrescentando um modelo de Fotogrametria mista, conforme apresentado na Figura 2.2.

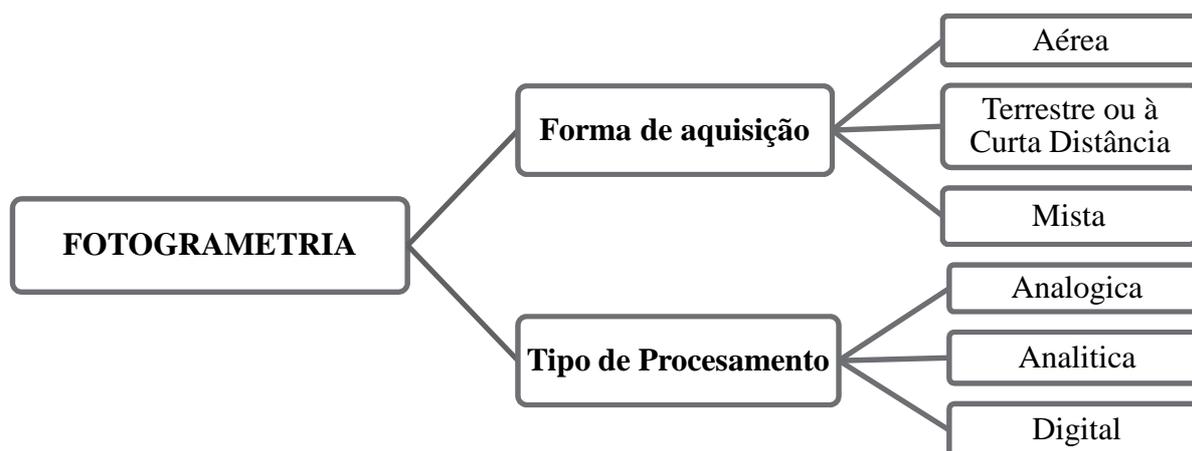


Figura 2. 2 - Proposta de classificação da fotogrametria

2.3.2.2 - Segundo o processamento de dados e evolução dos equipamentos

A Fotogrametria Analógica é baseada no uso de aparelhos de restituição óptico ou mecânico, devido à inexistência de computadores com capacidade para realizar os cálculos necessários às várias etapas do projeto fotogramétrico (RIBEIRO, 2002).

Na figura 2.3 se mostra o restituidor analógico, que permitia visão estereoscópica, através da utilização de um par estereoscópico (ou seja, um par de fotografias com áreas de superposição) possibilitavam a obtenção de cartas topográficas a precisões surpreendentes.



Figura 2. 3 - Restituidor Analógico.
Fonte: <http://www.slideshare.net>

Obviamente, tal trabalho passou a ser altamente específico, tornando fundamental a figura do técnico em fotogrametria, uma vez que tais aparelhos necessitavam de treinamento específico e aprofundado. O operador devia de executar o alinhamento das imagens para criar

um nível do modelo estereoscópico e dimensionado de forma adequada (BRITO; COELHO, 2002).

A Fotogrametria Analítica caracteriza-se pelo advento de computadores cada vez mais baratos e potentes e a utilização dos restituidores analíticos (Figura 2.4) permitiu uma redução da participação instrumental no processo fotogramétrico, levando a um aumento na precisão e a uma sofisticação nos modelos matemáticos (TOMMASELLI, 2009).



Figura 2. 4 - Restituidor Analítico
Fonte: <http://www.slideshare.net>

Os primeiros restituidores analíticos foram apresentados no congresso da ISP (atual ISPRS) em 1976. A partir daí, tais aparelhos revolucionaram o conceito de fotogrametria, permitindo a aerotriangulação de blocos (conjuntos de fotos) cada vez maiores e a utilização de câmaras comuns (não métricas) (BRITO; COELHO, 2002).

A Fotogrametria Digital teve o seu surgimento nos anos 80, tendo como grande inovação a utilização de imagens digitais armazenadas em meio magnético na forma de pixels, como fonte primária de dados.

Segundo o Dr. Friedrich Ackermann² destacado pesquisador na área, citado por Ribeiro (2002) a Fotogrametria Digital é o maior avanço que irá ultrapassar qualquer expectativa que se poderia ter sonhado, simplesmente devido ao poder da tecnologia digital, o uso de computadores, câmeras digitais, scanner (Figura 2.5) e programas de software que são algumas ferramentas que torna ela possível.

² Dr. Friedrich Ackermann, Professor Instituto de Fotogrametria. Universidade de Stuttgart. Alemanha.



Figura 2. 5 - Equipamentos da Fotogrametria Digital.

As câmeras digitais contém Charge Coupled Devices (CCD), chips com células fotossensíveis que geram voltagem quando recebem luz, combinam a ótica fotográfica com a tecnologia de imagem do computador, eliminando as despesas com filme, os produtos químicos e as demoras com revelação (YANAGA, 2006). Atualmente está sendo utilizado como uma alternativa mais barata os sensores do tipo CMOS dispositivos a base de oxido de metal (Complementary Metal Oxide Semiconductor) proporcionando ótimos resultados quanto qualidade da imagem e boas características geométricas.

Atualmente encontram-se câmaras digitais de lentes calibrados que têm como principal característica que a geometria e a estabilidade dos feixes de raios que originam as imagens são garantidas, isso porque parâmetros como a distância focal, informações sobre as distorções das lentes usadas e a posição exata do ponto principal são conhecidos (RESENDE, 2008).

São recomendadas para trabalhos de levantamentos fotogramétricos por demandar processos de trabalho mais simplificado, provendo informações mais precisas utilizando lentes calibradas, livres de distorções e disponibilizando sensores de alta resolução, no entanto sua utilização se torna, em muitos casos, inviável, devido aos custos elevados.

As câmaras digitais comuns vêm sendo utilizadas com frequência em fotogrametria, mesmo não sendo projetadas para esta finalidade, por não possuírem sensores de alta qualidade e componentes internos montados para garantir a estabilidade geométrica dos feixes de raios que originam a imagem (RESENDE, 2008). No entanto, devido à grande disponibilidade no mercado e por serem pequenas leves e de fácil manejo têm grande aplicação, desde que se faça a sua calibração através de softwares antes da sua utilização.

Sem importar o tipo de câmara, no mercado têm características diferentes relativamente ao tamanho e resolução dos sensores devido ao fato que quanto maior o sensor melhor será a

nitidez da imagem final (SANTOS, 2003). Assim, são distinguidas as câmaras com sensores de 24 x 36 mm chamadas de full frame (tela cheia) que são equivalentes às câmaras analógicas que utilizam filmes de 35 mm. As que têm um sensor menor que isso têm o que chamamos de fator de corte (ou *crop factor*), por exemplo, uma câmara com um fator de corte de 1.6 é como se a distância focal fosse 1.6 vezes maior. De cara esse fator faz que as lentes tenham um ângulo de visão menor, conforme apresentado na Figura 2.6.

A Figura 2.6 (a) mostra uma imagem tirada com uma câmara com sensor full frame o qual permite capturar maior área da cena, enquanto a imagem da Figura 2.6 (b) mostra uma imagem tirada com uma câmara com sensor menor que captura só o pedaço da imagem que cobre o seu tamanho.

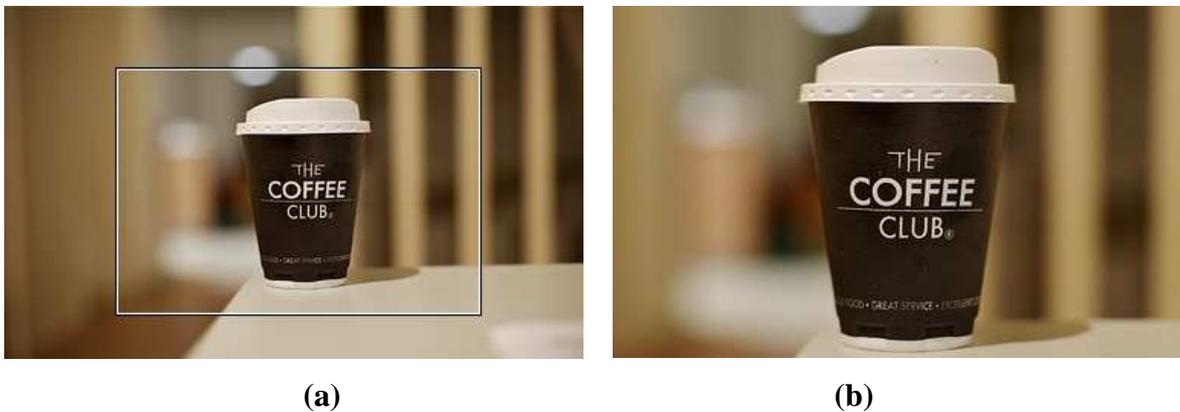


Figura 2. 6 - Fator de corte. (a) Imagem tirada com uma câmara full frame. (b) Imagem tirada com uma câmara com fator de corte 1.6.

Fonte: <http://www.fotografiaonline.xpg.com.br>.

Os scanners são dispositivos eletrônicos que, através do uso de sensores fotoelétricos detecta a radiância de cada pixel de uma imagem analógica e gera um arquivo binário (MARTINS, 2000). São geralmente dotados de dispositivos de vácuo, a fim de assegurar a não ocorrência de distorções na imagem fotográfica digitalizada. Essas distorções podem ser causadas pela camada de ar entre a base do fotograma a ser digitalizado e o seu respectivo suporte no scanner (BRITO; COELHO, 2002).

Assim, por meio da inserção destes equipamentos, a fotogrametria digital veio introduzir novos desafios, contribuindo para o desenvolvimento da fotogrametria terrestre, através do incremento das suas potencialidades e diversas aplicações tendo ganhado importância nas mais diversas áreas, designadas vulgarmente por “não topográficas” (SANTOS, 2003).

2.3.3 - Processos Fotogramétricos

2.3.3.1 - Orientação Interna e Orientação Externa de Imagens

Na realização de trabalhos fotogramétricos, cuja finalidade é a extração de medidas precisas dos objetos contidos na cena, por meio da utilização de fotografias ou imagens, duas etapas de orientação são necessárias: a Orientação Interior ou Calibração e a Orientação Exterior (REISS, 2002).

Orientação interna é o termo utilizado para descrever a geometria interna do sistema composto pela câmara e lentes. O processo consiste em reconstruir o feixe perspectivo, ou seja, a imagem em relação à câmara, ou ainda, a orientação interna consiste apenas em colocar as imagens em posição igual à que exerciam dentro da câmara, no momento em que foram obtidas. Somente assim, poderão ser efetuadas medidas com precisão sobre as imagens fotográficas (BRITO; COELHO, 2002).

Para sua determinação devem-se conhecer os parâmetros internos da câmara principalmente aqueles relacionados à sua geometria além dos valores das diferentes distorções que se apresentam nas lentes.

- Distância focal é a distância entre o centro perspectivo e o plano focal, medida ao longo do eixo ótico (da objetiva). É um parâmetro geralmente fornecido pelo fabricante, e representa o elemento principal de identificação das lentes de uma câmara (GROETELAARS, 2004).

Comumente, esta distância se pode ver afetada por o fator de corte. Neste caso é chamada de distância focal nominal.

- Ponto principal é o ponto central da fotografia, ou seja, o ponto de interseção do eixo ótico com o plano focal.
- As distorções das lentes são consideradas como as perturbações dos raios luminosos ao atravessar o sistema óptico da câmara que podem prejudicar a geometria por meio de deslocamentos na imagem. As distorções das lentes são provocadas basicamente pelo fato de, na sua fabricação, não se conseguir superfícies perfeitamente esféricas e conjuntos de lentes perfeitamente alinhados.

Quando o raio luminoso adentra ao sistema de lentes ele sofre desvios que não podem ser detectados individualmente. Os desvios podem ser classificados como: distorção radial simétrica e descentrada (ANDRADE, 2003).

A distorção radial simétrica pode ser encarada sendo a parte não desejável da refração sofrida por um raio de luz ao atravessar uma lente ou sistema de lentes.

É principalmente ocasionada pelas características físicas da lente utilizada. Representa a parte mais significativa das distorções na maioria das câmeras comerciais, sendo normalmente observável através dos efeitos denominados barril que faz com que as linhas retas pareçam curvadas para fora segundo exemplado na Figura 2.7 (b) e almofada que ocasiona que as linhas retas pareçam curvadas para dentro como mostra a Figura 2.7 (c), sendo tanto mais ressaltadas quanto menor for à distância focal.

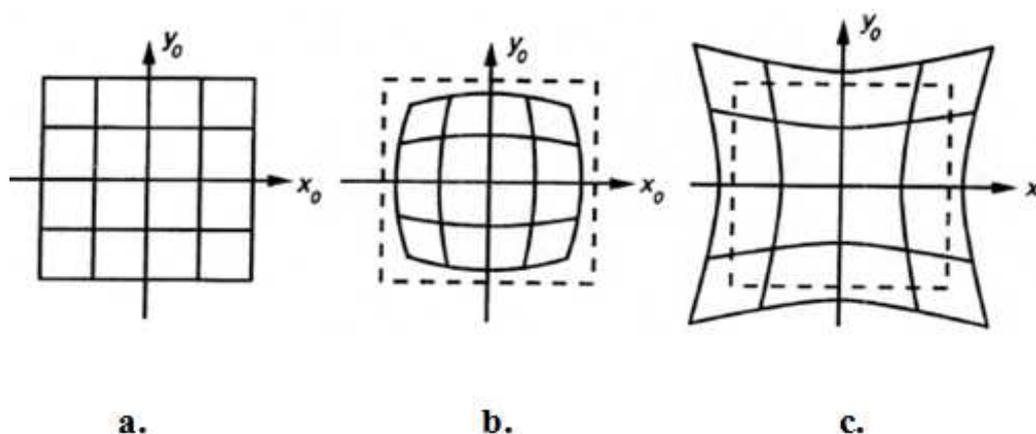


Figura 2. 7 - Efeitos da distorção radial simétrica. (a) Lente sem distorção. (b) Efeito barril (c) Efeito almofada (ABLANEDO, 2009).

Pode ser corrigida adequadamente pelo conhecimento de três constantes (K_1 , K_2 e K_3), que satisfaz o modelo matemático, mas de forma prática os coeficientes podem ser desprezados sem comprometer os resultados para a grande maioria das câmeras disponíveis, com ressalva para casos específicos, como aquelas equipadas com lentes de grande abertura (a distância focal é substancialmente menor que a distância focal de uma objetiva normal) (SANTOS, 2003).

A distorção descentrada é gerada pela impossibilidade do fabricante em alinhar perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõe uma objetiva ocasionando

deslocamentos da imagem, as quais influenciam diretamente nos resultados dos trabalhos de grande precisão (ANDRADE, 2003).

É importante salientar que quando a imagem é adquirida diretamente por uma câmara digital não é necessário proceder à orientação interna, uma vez que a imagem digital é uma matriz de pixel com geometria rígida e bem definida (SANTOS, 2003). Todos os parâmetros mencionados são conhecidos por meio do processo de calibração da câmara ou pelo certificado fornecido pelo fabricante.

A orientação externa relaciona o sistema de coordenadas de uma fotografia com o sistema de coordenadas do objeto representado, por meio do conhecimento de seis parâmetros envolvidos no processo exemplificados na Figura 2.8.

- As coordenadas no espaço-objeto para o centro de perspectiva (X_0, Y_0, Z_0);
- Ângulos de rotação (ω, Φ, κ), que indicam a relação existente entre os sistemas de coordenadas, ou seja, representam a rotação ao redor do eixo fotográfico (BRITO; COELHO, 2002).

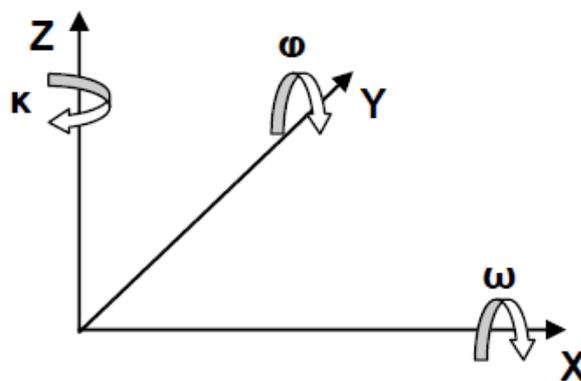


Figura 2. 8 - Sistema do Espaço Objeto (X, Y e Z) e Ângulos de Atitude ($\omega, \phi, e \kappa$).
(ANDRADE; SCHULER, 2011)

Ou seja, a determinação da posição e atitude da fotografia em relação ao referencial do objeto. Para isso é necessário que se tenha pontos de apoio no sistema de coordenadas do objeto, que sejam identificáveis nas fotografias, permitindo que suas coordenadas sejam obtidas no sistema fotogramétrico.

2.3.3.2 – Restituição

Este processo é efetuado por meio de fotografias devidamente orientadas (orientação interior e exterior), das quais se extrai as características desejadas por meio da marcação dos pontos homólogos em cada uma das fotografias, permitindo o rápido registro de todos os dados envolvidos na cena, podendo as medidas ser extraídas no escritório, quantas vezes forem necessárias (MEDINA 2004).

Há três tipos de restituição: as que trabalham com apenas uma fotografia (monorrestituição), as que utilizam simultaneamente duas fotografias de um mesmo objeto (estereopar) e as que utilizam várias fotografias (restituição a partir de fotografias convergentes).

A monorrestituição permite que com uma fotografia, sejam extraídas as características desejadas para representar o objeto considerado, e é aplicável desde que o objeto e a fotografia apresentem algumas características favoráveis ao processo. Assim devem-se seguir as seguintes recomendações:

- Utilizar fotografias tomadas perpendicularmente ao plano principal dos objetos (ou próximas a isso), com a possibilidade de criar fotos retificadas de melhor qualidade, devido a uma menor distorção de perspectiva.

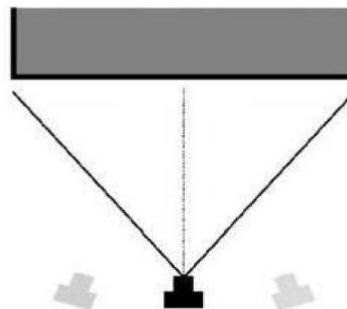


Figura 2. 9 - Posicionamento da câmara na monorrestituição (GROETELAARS, 2004).

- A geometria do objeto deve estar definida; arestas paralelas e perpendiculares entre si.
- O objeto seja complexo ou não deverá estar definido em um plano é dizer com pequenas variações de profundidade.

Quando, não é possível a resolução do problema fotogramétrico por meio de uma fotografia a restituição é efetuada a partir do processo da estereorrestituição que se baseia na utilização simultânea de duas fotografias de um mesmo objeto, obtidas com centros de perspectiva diferentes, de forma que as direções dos eixos óticos da câmara nos dois posicionamentos sejam paralelas entre si (ou próximas a isso) e perpendiculares ao plano do objeto (GROETELAARS, 2004) mantendo uma área de superposição das imagens geralmente de 60% na horizontal.

A Figura 2.10 apresenta um par estereoscópico que registra a edificação desde duas posições diferentes (esquerda e direita) sendo possível fixar geometricamente cada ponto do objeto a partir da interseção dos raios homólogos. A Figura 2.11 mostra a edificação já restituída.



Figura 2. 10 - Estereopar. (a). Imagem Direita. (b). Imagem esquerda.
(HANKE; GRUSSENMEYER, 2002)

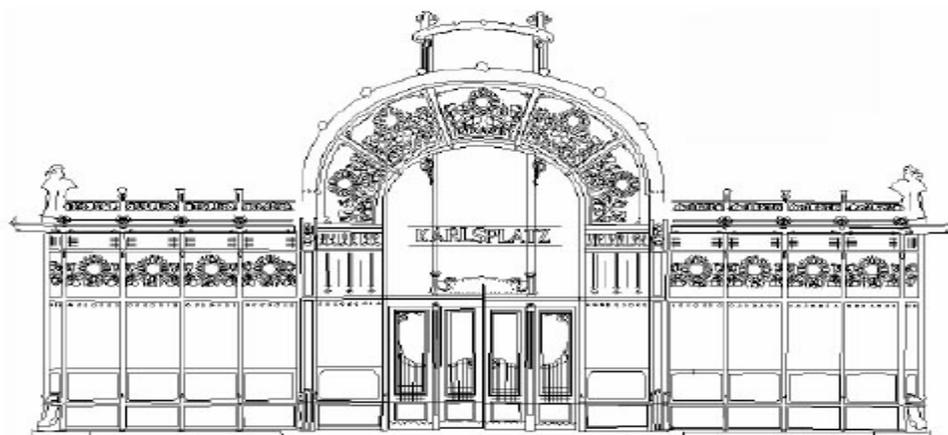


Figura 2. 11 - Produto da esterestiução (Desenho da fachada)
(HANKE; GRUSSENMEYER, 2002).

Finalmente, é necessário, o conhecimento de alguns dados de orientação: parâmetros de translação e rotação da câmara em cada posição na tomada fotográfica. Esses parâmetros de orientação podem ser obtidos diretamente no momento da tomada fotográfica ou, indiretamente, através da medição de pontos de apoio (ou de controle). Este último procedimento é o mais usado e o que apresenta melhor precisão (GROTERLAARS, 2004).

Na Figura 2.12 pode se observar a distância entre as estações fotográficas - base estéreo onde se deve guardar uma relação com a distância ao objeto compreendida entre os valores de 1/5 e 1/15, excepcionalmente 1/20. Um valor médio recomendável é 1/10, ou seja, se a câmara está afastada 10 m do objeto, deve-se procurar tomar o par de fotografias afastadas entre si, a uma distância de 1 m para garantir uma boa visão estereoscópica e boa precisão (GROTERLAARS, 2004).

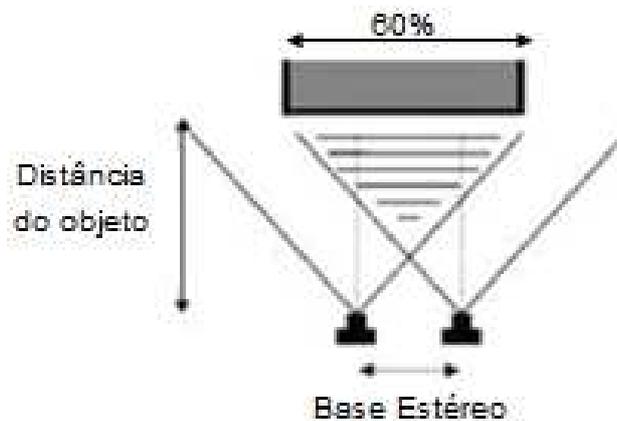


Figura 2. 12 - Base estéreo e a distância para o objeto na tomada estereofotogramétrica (GROTERLAARS, 2004).

A reconstituição tridimensional de um objeto utilizando o processo de restituição por várias fotografias pressupõe a aquisição de fotografias do objeto a partir de várias estações colocadas à volta do mesmo, com o cuidado de que os raios de luz sejam convergentes em cada ponto. A câmara vai sendo, portanto, posicionada em sítios de forma que os ângulos dos eixos ópticos convirjam em direção ao objeto em causa.

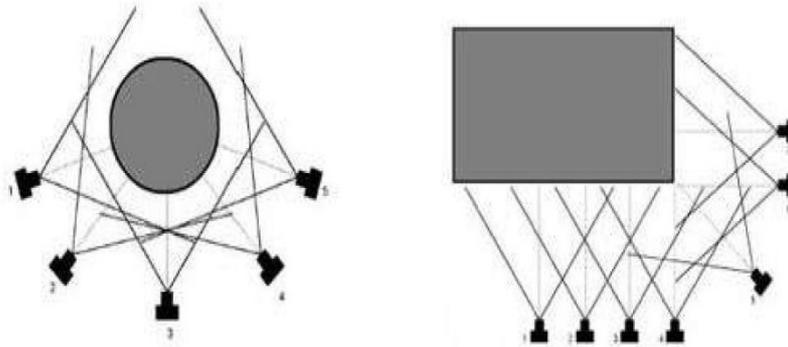


Figura 2. 13- Exemplos de diferentes tomadas fotográficas na restituição de várias fotografias (GROTERLAARS, 2004).

Este método é baseado na suposição de que se um ponto é visível em duas ou mais fotografias, pode ser calculada a sua posição tridimensional, se forem conhecidas à partida a posição e orientação da câmara. Deve-se tirar pelo menos três fotografias de cada lado do objeto, sendo uma perpendicular à face principal, para ser usada em ortofotos e captura da textura e outras duas próximas à 45° em relação à face (SANTOS, 2003).

A utilização desta técnica é crescente a cada dia, principalmente quando se trata de levantamentos voltados para arquitetura. Isto deve-se a vários fatores, tais como:

- Emprego de equipamentos de uso geral, como scanners, câmaras fotográficas comuns ou digitais e microcomputadores associados a programa específicos;
- As fotografias podem ser tiradas com diversos tipos de câmaras (métricas, semi-métricas, não métricas, câmaras digitais ou de vídeo) e diferentes distâncias focais;
- Podem-se tirar fotos de qualquer ângulo, permitindo o levantamento fotográfico de forma a cobrir toda uma edificação complexa;

Isto significa que as posições da câmara podem ser livres, dispensando as vezes o uso de tripés. Os raios de luz de cada fotografia são individualmente ligados pela medição de pontos comuns, pelo que cada ponto deve aparecer em pelo menos duas fotografias, em três será o ideal para verificação. Além disso, os raios não devem intersectar-se em ângulos muito agudos.

2.3.3.3 - Retificação de Imagens

Retificar uma fotografia consiste em projetá-la, segundo seu próprio feixe perspectivo, em um plano horizontal (ANDRADE, 2003). Ou seja, as fotografias apresentam os objetos com algumas distorções, as quais se devem a mudanças de profundidade do objeto e a inclinação do eixo da câmara em relação ao objeto no momento da tomada fotográfica. Se um objeto apresenta-se como uma superfície plana, é possível corrigir a inclinação do eixo ótico da câmara através do processo conhecido como retificação diferencial, que basicamente consiste em colocar as imagens que concebidas em um sistema de projeção central (cônica) Figura 2.14 (a), em um sistema de projeção ortogonal (ortogonal) Figura 2.14 (b). Ou seja, o centro perspectivo é deslocado para o infinito, e, portanto todos os raios projetantes são paralelos entre si, mantendo sua verdadeira posição ortográfica (CAVALCANTI; AMORIM, 2006).

Este processo pode ser efetuado tanto para retificar fotografias aéreas utilizadas para levantamento de áreas urbanas ou terrenos quanto para o desenho de fachadas podendo-se as vezes substituir, em grande parte, a necessidade de uma representação gráfica arquitetônica.

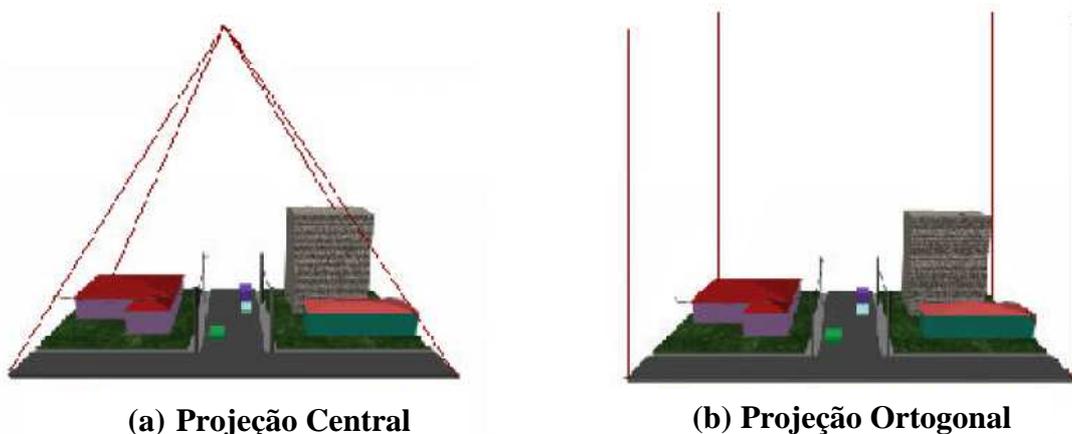


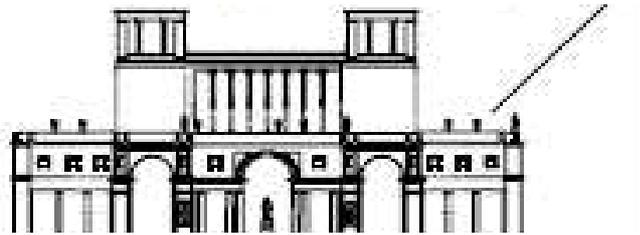
Figura 2. 14 – Retificação de imagens. (a) Projeção central (b) Projeção ortogonal (BRITO; COELHO, 2002)

Este tipo de representação, se realizado de forma adequada, permite o levantamento de qualquer medida contida no plano do objeto com precisão satisfatória, tanto que pode substituir a representação gráfica normal da fachada. A qualidade e a precisão da fotografia retificada estão intimamente ligadas ao grau de inclinação do eixo ótico da câmara com relação à sua perpendicular ao plano do objeto (quanto menor a inclinação melhor será o resultado), à qualidade e a escala da fotografia (GROETERLAARS, 2004).

A Figura 2.15 ilustra o processo de criação das ortofotos. A restituição fotogramétrica permite a criação do modelo tridimensional, baseada no cálculo das distâncias da superfície do objeto sobre um plano de projeção. As maiores distâncias estão representadas em tons mais escuros de cinza. A partir do modelo 3D (que representa os vários planos) e das imagens digitais, é possível obter as ortoimagens. As partes em preto nas ortoimagens são áreas oclusas nas fotografias originais. Com a combinação de mais de uma foto é possível combinar as ortoimagens para a criação de um mosaico de fotos com uma quantidade menor de áreas oclusas.



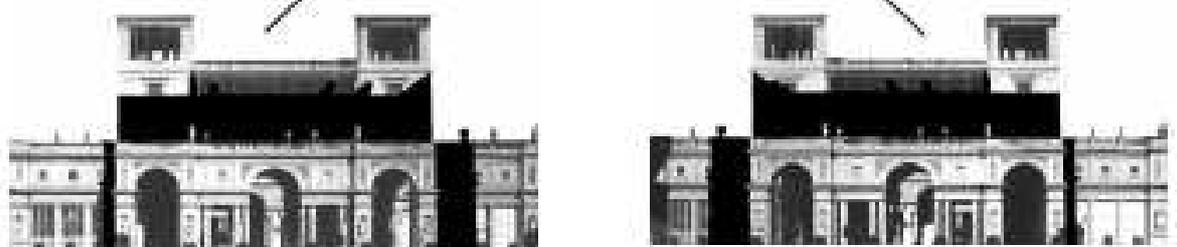
(e) Fotografias obtidas a partir de dois ângulos diferentes (estereopar) para visualização estereoscópica



(d) Modelo tridimensional construído pela visão estereoscópica que permite a criação de desenhos e ortofotos



(c) Representação dos diversos planos em tons cinza, os mais escuros estão mais afastados do plano de referência



(b) Ortofoto esquerda e direita referentes às fotografias esquerda e direita



(a) Ortofoto final; combinação das duas imagens (esquerda e direita)

Figura 2. 15 - Processo de criação de ortofotos digitais. (GROETERLAARS, 2004, adaptado de WIEDEMANN, 1998).

Com estas e outras soluções, vários órgãos e empresas passaram a utilizar restituidores digitais, principalmente para a geração de ortofotos, que eram de produção complicada nos sistemas analógicos. Entre os mais destacados podem-se encontrar:

O software *DigiCad 3D* é uma excelente ferramenta para lidar com imagens, desenhos, fotografias, superfícies regulares ou irregulares e mapas. Atualmente está sendo explorado para a área de fotogrametria de curta distância para a qual oferece múltiplas vantagens oferecendo ferramentas poderosas e fáceis de usar. Permite a eliminação da deformação óptica, distorções de perspectiva em superfícies curvas e georeferenciamento (AGOSTINI).

O software *Rollei Metric MSR (Metric Single Image Retification)*, constitui um sistema fotogramétrico que efetua a avaliação 2D de qualquer objeto. O programa combina as possibilidades de processamento de imagens digitais e a representação da escala real de qualquer tipo de plano, permitindo transformar imagens perspectivas em projeções paralelas correspondentes as retificações (YANAGA, 2006). Ele pode ser usado em várias áreas em que se exige a representação da escala real de uma forma rápida e econômica, como: na arquitetura, na indústria, no cuidado e preservação de monumentos, na cartografia de pequena escala, em acidentes de trânsito e na tecnologia criminal.

O *PhotoModeler* é uma ferramenta que permite a obtenção de fotografias retificadas, modelos tridimensionais, alçados de fachadas, etc. a partir de fotografias tomadas dos objetos. Trabalha com dois tipos de restituição: monorrestituição (restituição a partir de uma única foto) e restituição a partir de várias fotografias (fotos tomadas de diversos ângulos e níveis de aproximação) (AMORIM; GROETELAARS; LINS, 2008).

Devido a sua importância e tendo em vista que o software utilizado no presente trabalho é dedicado o item 2.3.4 para estudar suas principais características.

2.3.4 - Software *PhotoModeler*

É produzido pela companhia *Eos Systems Inc*, com a sede na cidade de Vancouver, Canadá, que desenvolve e comercializa tecnologias de modelagem 3D para uma aplicação prática na indústria e no cotidiano.

É um software que auxilia a fotogrametria digital para o processamento de imagens digitais, para calcular dimensões e construir um modelo 3D dos objetos fotografados permitindo representar toda a superfície visível em um só esboço e num sistema de coordenadas único, podendo-se colocar cada linha em sua posição real no espaço e medir com precisão, distâncias e áreas facilmente (SANTOS, 2003).

Conta com características e funções principais, que permitem ótimo desempenho das aplicações, tendo em vista que cria modelos utilizando ferramentas de marcações de ponto, linha, curva, borda ou cilindro, ou para medição de distâncias, comprimentos e áreas com boa precisão (SOUZA *et al*, 2001).

Além disso, permite o manuseio rápido e eficaz das imagens, visualização dinâmica e intercativa do modelo, possibilita a exportação em variados formatos 3D, extração de texturas das imagens e a produção de imagens retificadas. Estes produtos são muito utilizados para diversas áreas do conhecimento como engenharia, arquitetura, ciência forense, medicina, entre outras (SILVA; MELO, 2002).

Segundo o manual do software (*PHOTOMODELER*, 2012) a precisão depende do usuário na marcação e localizações dos pontos sobre as imagens. Se um ponto aparece em duas fotografias e por aproximações localiza-se o ponto, em seguida, as coordenadas 3D resultante terá baixa precisão e, provavelmente, será incorretamente colocado no espaço 3D. Depende também da qualidade da calibração, resolução da câmara e das posições das estações fotográficas.

Para um projeto feito com a câmara digital de boa resolução *PhotoModeler* pode mostrar uma precisão em dimensões lineares de cerca de 1:5000 o que significa que para um objeto com uma dimensão de 10m pode-se produzir coordenadas 3D com precisão 2 milímetros.

Para câmaras full frame e métricas pode-se atingir precisões de 1:30000 isto devido a excelentes características das imagens tiradas com estas câmaras que permitem a fácil marcação dos pontos em cada uma das fotografias.

A qualidade dos resultados é avaliada pelo conhecimento dos valores de cada um dos erros que o programa considera que podem acontecer na modelagem, tal como os descritos a seguir.

2.3.4.1 - Erro Residual de Marcação e *Tightness*

O erro residual de marcação é um dos melhores indicadores de qualidade do projeto e refere-se à diferença entre o local onde o utilizador marcou um ponto em relação com a posição que o programa espera que seja. É medido em pixels e espera-se que em qualquer projeto seja menor a 10. No entanto cabe salientar que quando se utilizam câmaras calibradas este erro deve ser de 3 pixels ou menores.

Seu valor pode ser visualizado na parte superior esquerda (circulo vermelho) como é mostrado na Figura 2.16, e indica que esse ponto estará afastado da posição calculada pelo programa 0.06 pixels.

“*Tightness*” relaciona-se com o erro dos raios de intersecção da luz no espaço, e é mostrado como uma percentagem das extensões de projeto ou como um valor absoluto em unidades de projeto.

Por exemplo, um ponto marcado em apenas duas fotografias, uma vez orientadas, o ponto 3D no espaço pode ser calculado. Se tudo é perfeito (calibração da câmara, orientação de imagens e marcação de pontos), então os dois raios de luz irão se cruzar no espaço perfeitamente. Neste caso, o valor do *tightness* para este ponto seria zero. (Figura 2.16).

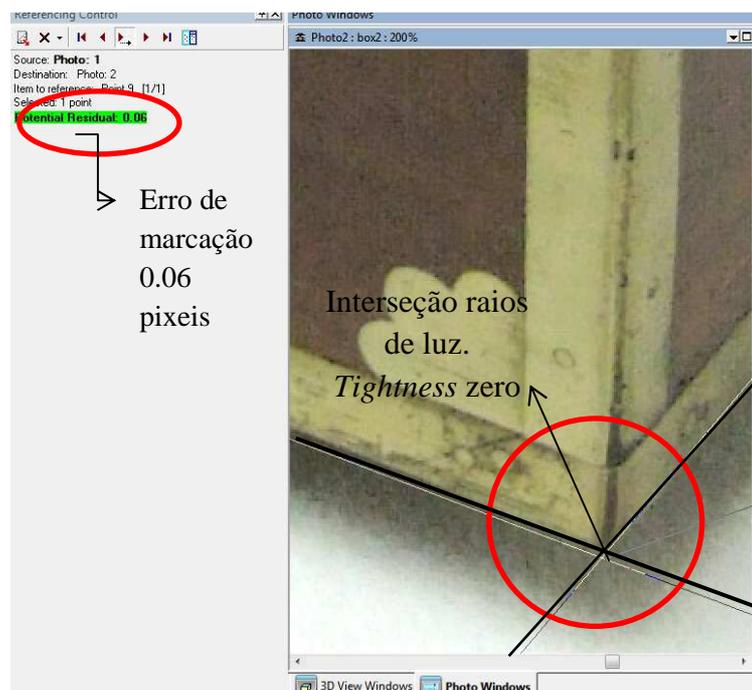


Figura 2. 16 - Erro Residual e *Tightness* zero

Mas na realidade nem as marcações, nem a calibração e nem a orientação são perfeitas e estes dois raios de luz não se cruzarão e haverá um pequeno intervalo entre eles no ponto em que estão mais próximos uns aos outros. Como conclusão, pode-se afirmar que quanto mais perto ele se cruzem, menor será o valor do *tightness*. Quanto maior for o *tightness*, maior a diferença entre os raios de luz.

Em um projeto de alta precisão os valores do *tightness* devem ser geralmente menores do que 0,01% o que significa que a diferença entre os raios de luz é dez milésimos o tamanho do projeto ($0,01 / 100 = 0,0001 = 1 / 10.000$).

Em um projeto de boa qualidade com muitos pontos, os valores do *tightness* podem chegar a 0,1% que se traduz em um milésimos do tamanho do projeto.

2.3.4.2 - Erro Total

O erro total combina informações de resíduos de marcação e resíduos decorrentes da calibração da câmara. Seu valor geralmente deve ser inferior a 1,0 pixels, mas muitas vezes resulta difícil cumprir com este valor, já que cada projeto é diferente e as características do objeto, sua complexidade e tamanho influenciam diretamente nos resultados. Assim, se definem três intervalos nos que o projeto pode considerar-se dentro da faixa aceitável.

- $E_T \leq 1,0$; tem-se um projeto razoavelmente bom que atende as expectativas de qualidade com respeito à marcação e da calibração da câmara. Estes valores são típicos para estruturas que não requeiram muito detalhe e que a quantidade de pontos, linhas e curvas sejam poucas.
- $1,0 \leq E_T \leq 10$; nestes valores é desenvolvida a maioria dos projetos de fotogrametria digital, tanto para pesquisas de alta precisão industrial, onde os erros geralmente são entre 1.0 e 2.0, quanto para um projeto de reconstrução de um acidente rodoviário, ou um levantamento arquitetônico de grande porte, que pode estar adequado com um erro total tão elevado como 10. Estes erros são atribuídos à marcação de pontos por aproximação ou os parâmetros adquiridos na calibração da câmara não estão muito precisos.

- $E_T \geq 10$; pode-se ter uma calibração da câmara pobre, pode ser devido que área de cobertura do modelo de calibração é muito pequena, mas também, por erros como pontos mal referenciados, bordas (ou restrições mal definidas).

O erro total pode ser conhecido para cada processo executado por meio de um gráfico (Figura 2.17) que apresenta tanto seu valor quanto os dados sobre cada iteração feita até que os pontos sejam ajustados de acordo com a sua posição correta no espaço (*PHTOMODELER 2012*).

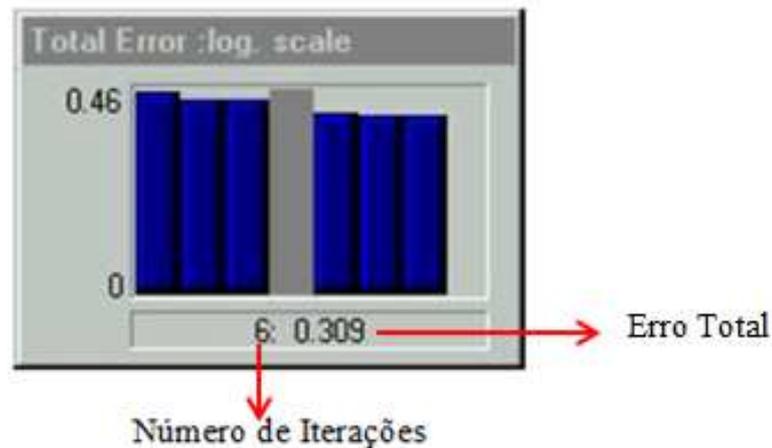


Figura 2. 17 - Gráfico representativo de cada processo.

Identificam-se duas etapas (barras cor azul acrescidas em cada iteração) divididas por uma barra cor cinza. Na parte esquerda se desenvolve a primeira fase conhecida como otimização e na parte direita a segunda que corresponde à otimização e auto-calibração.

Para obter a orientação das imagens adequadamente estas barras devem o menor possível, caso contrario o programa não conseguirá finalizar o processamento.

2.4 – FOTOGRAMETRIA PARA RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS

2.4.1 - Antecedentes

A história da fotogrametria para restauração de monumentos começa com Albrecht Meydenbauer, distinguido arquiteto alemão que em 1858 teve a ideia de usar fotografias para

documentação métrica de edifícios depois de um acidente em que ele quase caiu do topo da catedral de Wetzlar em Alemanha, durante um cadastramento por medição direta.

O processo consistia em substituir as medições diretas nas fachadas e principais elementos por medições indiretas em imagens fotográficas, conseguindo armazenar informações do objeto em grandes detalhes e com alta precisão (SANTOS, 2003).

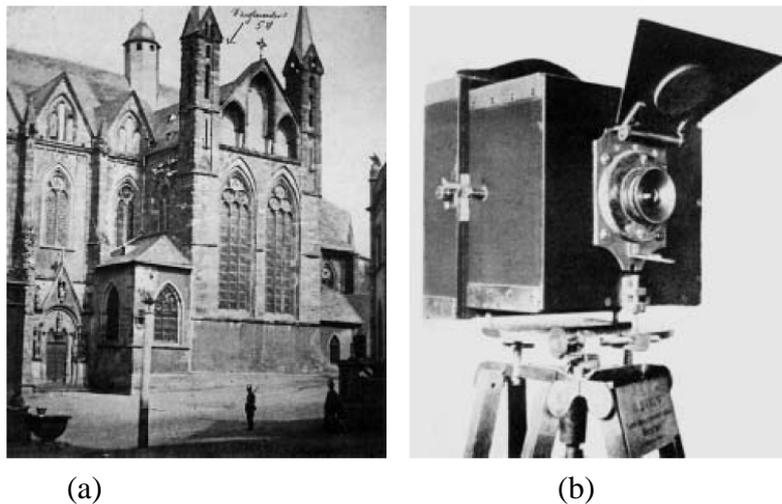


Figura 2. 18 - (a) A Catedral de Wetzlar (Alemanha), setembro de 1858 (b) Primeira câmara de Meydenbauer (Construída em 1867) (ALBERTZ, 2001).

Meydenbauer estava ciente dos riscos que corriam os elementos do patrimônio construído e estava convencido de que os objetos mais importantes deviam ser fotografados de maneira tal que fosse possível sua reconstrução em caso de desastre. Para isso, propunha um Denkmälerarchiv (Arquivo do Patrimônio Cultural), que consiste na documentação detalhada de edifícios e monumentos, históricos que inclui, além de informação descritiva dos monumentos (a sua história, estilo, ano de construção, etc.), o levantamento preciso da sua geometria, a documentação do seu estado atual e o levantamento das suas fachadas (ALBERTZ, 2001).

A utilização da fotogrametria na restauração de edificações de valor patrimonial tomou impulso somente a partir dos anos 60, quando vários países passam a se preocupar com a conservação de monumentos, além das organizações internacionais ligadas à conservação do patrimônio cultural. A UNESCO recomendou amplamente o uso da técnica, promoveu formação nesta área, contribuiu para a criação de laboratórios para efetuar levantamentos e decretou que todas as grandes operações de salvaguarda de monumentos e locais históricos

tivessem como pré-requisito a necessidade de levantamentos fotogramétricos (SANTOS, 2003).

A criação da Carta de Veneza (Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro de Monumentos e Sítios. IIº Congresso Internacional de Arquitetos y Técnicos de Monumentos Históricos), no ano de 1964 permitiu estabelecer novos conceitos determinando que os trabalhos de conservação, de restauração e de escavação fossem sempre acompanhados pela elaboração de uma documentação precisa, além de reclamar a colaboração de todas as ciências e técnicas que pudessem contribuir para o estudo e salvaguarda do patrimônio, reconhecendo a fotogrametria como instrumento importante nesta atividade (GRUPO DE TRABALHO PATRIMONIO HISTORICO E ARQUITETONICO – CREA- S.P, 2008).

Em 1970 o ICOMOS (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios) e o ISPRS (Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto) formam o CIPA (Conselho Internacional de Fotogrametria Arquitetônica), instituição que tem como principal objetivo o melhoramento e desenvolvimento de todos os métodos de levantamento do patrimônio cultural, com ênfase na Fotogrametria ou métodos onde esta esteja presente, que possam contribuir para o registro e monitoramento da herança cultural, para a preservação e restauração de monumentos, objetos ou locais com valor cultural.

Finalmente, no ano de 1987 o ICOMOS aprovou na sua oitava Assembleia Geral, a resolução que aponta a constituição de Arquivos Fotogramétricos como a ferramenta para obtenção rápida e precisa de dados essenciais ao planejamento da restauração, intervenções conscientes e também para a documentação e divulgação de bens patrimoniais e arquitetônicos, começando a vanguarda de representação assim como a aprendizagem aprofundada da técnica aos profissionais envolvidos nos trabalhos de restauração (SANTOS, 2003).

A técnica é cada vez mais utilizada, isso porque, graças aos avanços tecnológicos, permite que seja mais acessível devido ao fácil manuseio dos equipamentos envolvidos nos processos como câmeras digitais e microcomputadores associados a programas específicos para restituição. Já ao final da década de 90 fica potencializado o uso da fotogrametria.

2.4.2 - Aplicações no Levantamento Arquitetônico

O termo Levantamento Arquitetônico se refere ao conjunto de investigações e operações orientadas a determinar as características significativas no aspecto morfológico, dimensional, figurativo e tecnológico de uma estrutura ou conjunto urbano a ser avaliado e investigado, com a finalidade de construir um modelo tridimensional simplificado, ou seja, a tomada de dados de um objeto e sua representação gráfica em três dimensões (ALMAGRO, 2000, 2004).

Esta definição é ajustada para a realização de trabalhos de preservação ou restauração do patrimônio edificado, onde é imprescindível a execução de um levantamento gráfico, que se constitui em um inventário ou uma base documental. O levantamento deverá ser completo para que o arquivo arquitetônico contenha toda a informação necessária já que um monumento só pode ser restaurado e protegido se tiver sido completamente medido, documentado e registrado.

Para isso é necessário que tenham sido recolhidos dados suficientes para obter desenhos ou modelos numéricos que permitam a reprodução do edifício em diferentes projeções, incluindo alçados, cortes ou perfis, tendo em conta fatores como a escala a precisão e as características próprias de cada estrutura (ALBERTZ, 2001).

A fotogrametria digital terrestre é utilizada com muito bons resultados para este tipo de trabalhos, permite a produção de desenhos em escala e modelos tridimensionais definindo sua descrição precisa. Apresenta múltiplas vantagens com relação às técnicas tradicionais de levantamento especialmente no que se refere à diminuição de tempo investido em campo, traduzindo-se em custo efetivo baixo. Além disso, é uma técnica “não destrutiva” (o objeto pode nem ser tocado), e a utilização de imagens digitais fornece total flexibilidade podendo ser medidos movimentos e deformações (avaliação temporal) conseguindo um grande nível de exatidão e detalhe.

No Brasil a fotogrametria tomou importância no início da década dos 80 quando é executado o levantamento na Igreja de São Miguel Arranjo, no Rio Grande do Sul (Figura 2.20). O trabalho teve como objetivo a análise, documentação e a representação gráfica das características físicas do monumento, dos processos de degradação e das diversas intervenções que a edificação havia sofrido (CANTUÁRIA, 2003).

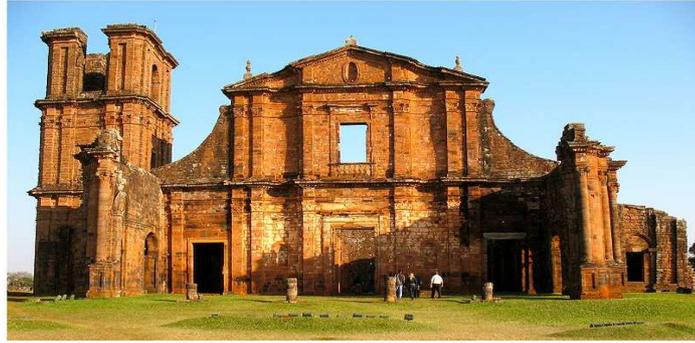


Figura 2. 19 - Visão frontal da Igreja de São Miguel Arcanjo.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ruinas_frente.JPG

Em Curitiba, o Museu Paranaense teve suas fachadas, e alguns detalhes internos, levantados por esta técnica, resultando em restituições fotogramétricas das fachadas, como é ilustrado na Figura 2.20.



Figura 2. 20 - Fachada Principal Museu Paranaense e Desenho Vetorial (CANTUÁRIA, 2003).

Para o ano 1998 a Igreja da Ordem Terceira de São Francisco de Penitência, no Rio de Janeiro, foi alvo de um levantamento fotogramétrico que registrou as fachadas e algumas dependências internas (Figura 2.21) (CANTUÁRIA, 2003).

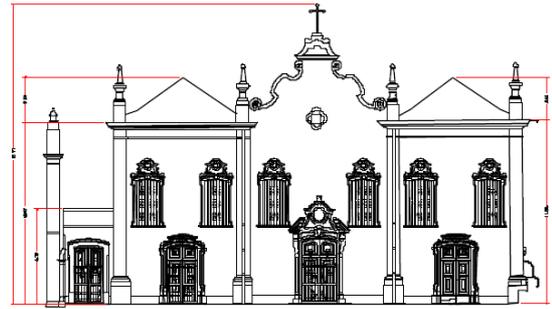


Figura 2. 21 - Fachada Principal e Desenho Vetorial (CIPA Working Group 3 KEY, 2002)

Além da produção de desenhos arquitetônicos da Igreja (elevações externas, cortes, plantas, etc.), para a documentação interior foi utilizada a foto-retificação para a produção de 22 desenhos CAD com imagens retificadas do interior, semelhantes ao exemplo abaixo (Figura 2.22).

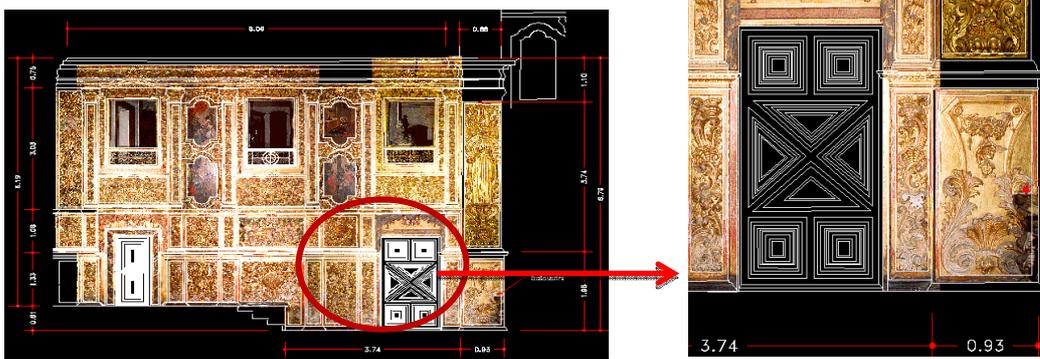


Figura 2. 22 - Desenhos CAD com imagens retificadas
Fonte: <http://www.documentasurveys.com/ordem3brasil.htm>

Na Bahia, o Castelo Garcia D'Ávila (Figura 2.23) foi submetido a um dos mais completos registros fotogramétricos do Brasil, tornando-se como referencia na utilização da técnica para a preservação do patrimônio histórico nacional (CANTUÁRIA, 2003).



Figura 2. 23 - Castelo de Garcia d'Ávila – Ruínas Fachada Oeste.
(ALMEIDA; SANTANA, 2000).

O monumento foi objeto de um Levantamento Fotogramétrico, executado em 1993/94, obtendo-se como resultados modelos fotogramétricos de todas as fachadas externas, a restituição convencional de duas fachadas, duas ortofotos uma preta e branca e uma colorida. Alguns resultados são apresentados na Figura 2.24 e na Figura 2.25.

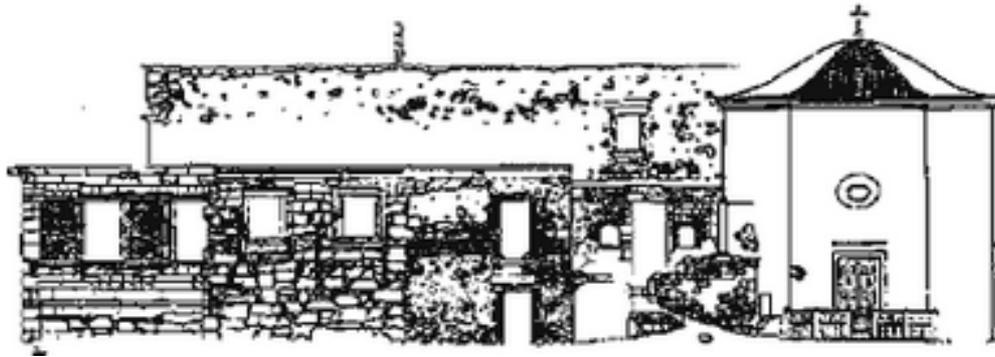


Figura 2. 24 - Restituição fotogramétrica Castelo de Garcia d'Ávila – Ruínas Fachada Oeste (ALMEIDA; SANTANA, 2000).



Figura 2. 25 - Ortofoto colorida, executada em 1994, pela ESTEIO, em Curitiba. Castelo de Garcia d'Ávila – Ruínas Fachada Oeste (ALMEIDA; SANTANA, 2000).

Para o ano de 2001 foi planejado um novo levantamento que permite-se ampliar a informações recolhidas. O levantamento foi desenvolvido pelo projeto *Documentação Precisa de Sítios Brasileiros*, promovido pelo Ministério da Cultura em parceria com o Instituto Militar de Engenharia.

Já no ano de 2004, foi iniciado o Projeto Pelourinho que consiste no levantamento e restituição de fachadas do Centro Histórico do Salvador. Seu objetivo final é a documentação arquitetônica, um processo sistemático de aquisição, tratamento, indexação, armazenamento, busca e divulgação dos dados e informações gráficas e não gráficas sobre as edificações, com variados fins. Obtém-se como produto final ortofotos como a representada na Figura 2.26 que

serviu como base para o desenho da fachada em escala 1: 100 (Figura 2.27) (ANTONIAZI, 2009).



Figura 2. 26 – Pelourinho. Ortofoto no formato JPG.
Fonte: Cortês e Amorim, LCAD – Faculdade de Arquitetura da UFBA (2004).



Figura 2. 27 – Pelourinho. Desenhos vetoriais em formato DWG.
Fonte: Cortês e Amorim, LCAD – Faculdade de Arquitetura da UFBA (2004).

2.4.3 - Precisão do Levantamento

Segundo Jauregui & Jauregui (2000) os levantamentos fotogramétricos arquitetônicos podem ser classificados em levantamento geral e levantamento detalhado. O levantamento geral é utilizado para representar a forma da construção de maneira geral, mostrando suas principais linhas arquitetônicas. Este tipo de levantamento é utilizado para trabalhos preliminares de restauração, bem como em inventários.

Os levantamentos detalhados são completos e rigorosos, usados na documentação sistemática de construções a serem restauradas. Seu objetivo é produzir todas as informações necessárias para preparar o projeto de restauro. Estes levantamentos requerem alta precisão (MEDINA, 2004).

Para o ICOMOS (2004), os levantamentos para representações de monumentos e sítios históricos são divididos em três grupos, de acordo com suas necessidades e exigências. O primeiro grupo, denominado de levantamentos rápidos e relativamente simples engloba os estudos preliminares, inventário e estudo da história da arte. O erro máximo permitido no posicionamento dos pontos é de 5 cm, sendo a representação gráfica efetuada na escala 1:100 ou 1:200. A representação envolve linhas arquitetônicas principais, em elevações e seções verticais.

O segundo grupo, denominado de levantamentos precisos, atende as exigências mais gerais dos arquitetos e historiadores da arte. Este grupo engloba os levantamentos de conservação do patrimônio, administrado por organizações oficiais. A variedade de aplicações dos levantamentos precisos é grande: análise de monumentos, conservação e restauração, levantamento de monumentos históricos, desenvolvimento de fachadas, decoração de monumentos e levantamentos arqueológicos.

A escala da representação gráfica dos levantamentos precisos, é normalmente 1:50, sendo de 1 a 2 cm o erro máximo permitido no posicionamento dos pontos. Para edifícios grandes a escala preferida é 1:100, porém com detalhes em 1:20 ou 1:10. O levantamento envolve elevações de fachadas exteriores e de paredes interiores, seções verticais, plantas, desenho de abóbadas ou tetos.

O terceiro grupo de levantamentos corresponde ao de alta precisão. O erro máximo admissível nos levantamentos deste grupo é de 1 mm, chegando em alguns casos a 0,1 mm. A aplicação destes levantamentos está na representação de elementos esculpidos (estátuas ou decoração) ou ainda em objetos arqueológicos ou de arte.

O surgimento da fotogrametria permitiu a execução de um levantamento completo, apresentando todos os detalhes arquitetônicos assim como elementos estruturais, superfícies irregulares e deformações de uma maneira objetiva e precisa, estabelecendo vínculos que vão desde os estudos históricos até aqueles puramente tecnológicos, ratificando, portanto, as funções de registro, identificação e proposição que este instrumento assume, consolidando-se como a técnica mais apropriada para documentação e levantamento de monumentos. (ALMEIDA; SANTANA, 2000).

2.4.5 Aplicações no Diagnóstico e Avaliação do Estado de Conservação

O papel da fotogrametria digital para o diagnóstico em projetos de restauração de bens culturais é basicamente na produção de mapas de danos, ferramentas aplicadas para o levantamento das degradações e consiste na representação gráfica e sintética dos danos físicos existentes no bem histórico (COSTA, 2010).

Um dos métodos utilizados para a obtenção destes produtos é com o uso de fotos retificadas ou ortofotos (produtos fotogramétricos resultantes de processo chamado de retificação diferencial), caracterizado pela sua simplicidade, rapidez e baixo custo, onde sobre as imagens se podem traçar as características através da vetorização executada em programas CAD como pode ser observado na Figura 2.28.



Figura 2. 28 - Desenho produzido no AutoCAD (vetorização) (COSTA, 2010).

Depois deste processo se obtém o produto final no qual foram definidas cores e camadas diferenciadas permitindo identificar áreas afetadas assim como a graduação de intensidade de deterioração revelando graficamente e fotograficamente o estado atual da edificação (Figura 2.29).

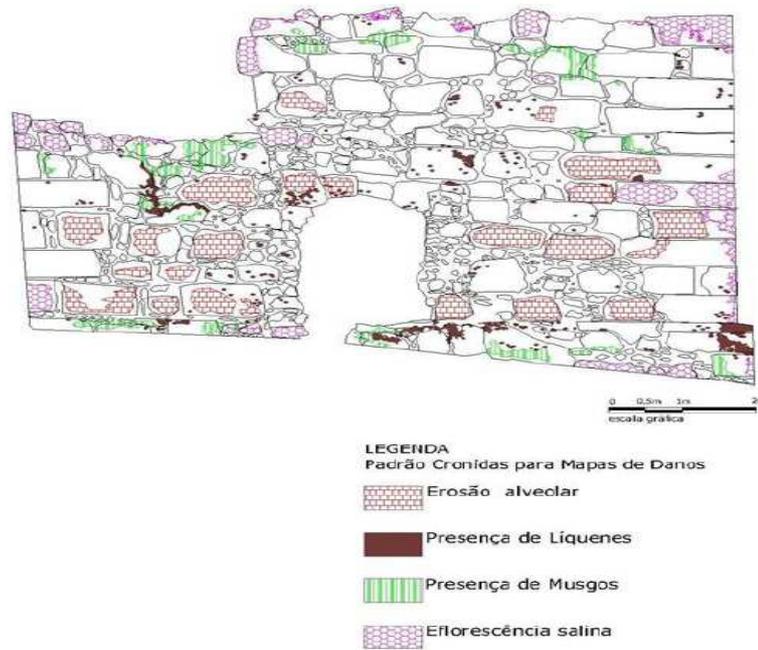


Figura 2. 29 - Produto final: Mapa de danos. (COSTA, 2010).

No entanto sua função não se resume a uma representação gráfica de seu estado patológico, mas traduz um registro do quadro evolutivo do estado de conservação. O mapa realizado em um dado momento servirá como agente facilitador de ações preventivas (manutenção do estado de conservação bom) e de intervenções (CAMPELLO, 2008).

É adequado que sejam estipulados métodos e modelos para cada caso, e que atenda bem as fases de análise e execução e fundamentação nas decisões referentes ao objeto de intervenção assim como para o atendimento das exigências de aprovação pelos órgãos competentes (TONERA, 2006).

3- EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA

Para levar a cabo a pesquisa foram empregados os seguintes equipamentos:

- Instrumental para o levantamento fotogramétrico terrestre.
 - i. Câmera Digital Nikon D700, com sensor full frame e lente calibrada.



Figura 3. 1 - Câmera Nikon D700.

Tabela 3. 1 - Especificações Câmera Nikon D700

Câmera Nikon D 700	
Resolução	12,1 Megapixels
Tipo de sensor	CMOS
Tamanho do sensor	23,9 x 36 mm
Tamanho máximo da imagem	4256 x 2832 pixels
Distância focal	20 mm

- ii. Câmera Digital Panasonic Lumix GF2, fator de corte 2 e lente sem zoom.



Figura 3. 2 - Câmera Panasonic Lumix GF2.

Tabela 3. 2- Especificações câmara Panasonic Lumix GF2

Câmara Panasonic Lumix GF2	
Resolução	12,1 Megapixeis
Tipo de sensor	CMOS
Tamanho do sensor	17,3 x 13 mm
Tamanho máximo da imagem	4000 x 3000 pixels
Distância focal	40 mm (Equivalente em formato de uma câmara de 35 mm)

- iii. Tripé; para garantir a estabilidade da câmara evitando movimentos fortes durante a tomada.
- iv. Trena laser e trena metálica de 10 m; medições de distâncias e definição de alinhamentos.

- Instrumental para o levantamento fotogramétrico aéreo.
 - i. Câmara Digital Sony Nex – C3. Fator de corte 1.5



Figura 3. 3- Câmara Sony Nex – C3

Tabela 3. 3- Especificações câmara Sony Nex – C3

Câmara Sony Nex – C3	
Resolução	16 Megapixels
Tipo de sensor	APS-C ³
Tamanho do sensor	23,4 x 15,6 mm
Tamanho máximo da imagem	4912 x 3264 pixels
Distância focal	24 mm (Equivalente em formato de uma câmara de 35 mm).

O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) utilizando no presente trabalho encontra-se em desenvolvimento no âmbito do projeto mVANT, coordenado pelo Prof. Lenildo Santos da Silva, no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Apresentam-se dois tipos um avião e outro hexacóptero. Os seguintes possuem as seguintes características técnicas/construtivas.

³ Sensor APS – C do inglês Active – Pixel Sensor – (Sensor de Pixel Ativo).

ii. VANT – Avião



Figura 3. 4- VANT utilizado

Tabela 3. 4– Características do VANT - Avião utilizado

VANT - Avião	
Material	Elapor
Envergadura	2 m
Comprimento	1,7 m
Peso	2,5 Kg
Autonomia	60 min
Distância máxima em relação à base	5 km
Altura típica de voo	Entre 100 m e 500 m
Velocidade	45 km/h – 90 km/h
Condições meteorológicas	Sem chuva e ventos de até 30 km/h
Espaços para pouso e decolagem	10 m x 60 m

iii. VANT – Hexacóptero



Figura 3. 5– VANT hexacóptero utilizado

Tabela 3. 5– Características do VANT – Hexacóptero utilizado

VANT - Hexacóptero	
Material	MDF e Fibra de Carbono
Diâmetro total do rotor	60 cm
Peso	1,5 Kg
Autonomia	30 min
Distância máxima em relação à base	2 km
Altura típica de voo	Entre 5 m e 250 m
Velocidade	0 km/h – 35 km/h
Condições meteorológicas	Sem chuva e ventos de até 30 km/h
Espaços para pouso e decolagem	3 m x 3 m
Operação diurna	

- Software e hardware usados nos trabalhos de processamento:
 - i. Computador INTEL Core i7 3.4 GHz, memória RAM 8 GB, disco rígido SATA II 1 Tb 7200RPM e placa de vídeo *msi* R6570, monitor LG Flatron D2342 de 23”;

- ii. Software PhotoModeler 2012, para processamento e retificação das imagens, geração de modelos 3D e ortofotos com sua respectiva textura;
- iii. AutoCAD 2010, para o processo de vetorização das imagens.

Foi utilizada a seguinte metodologia:

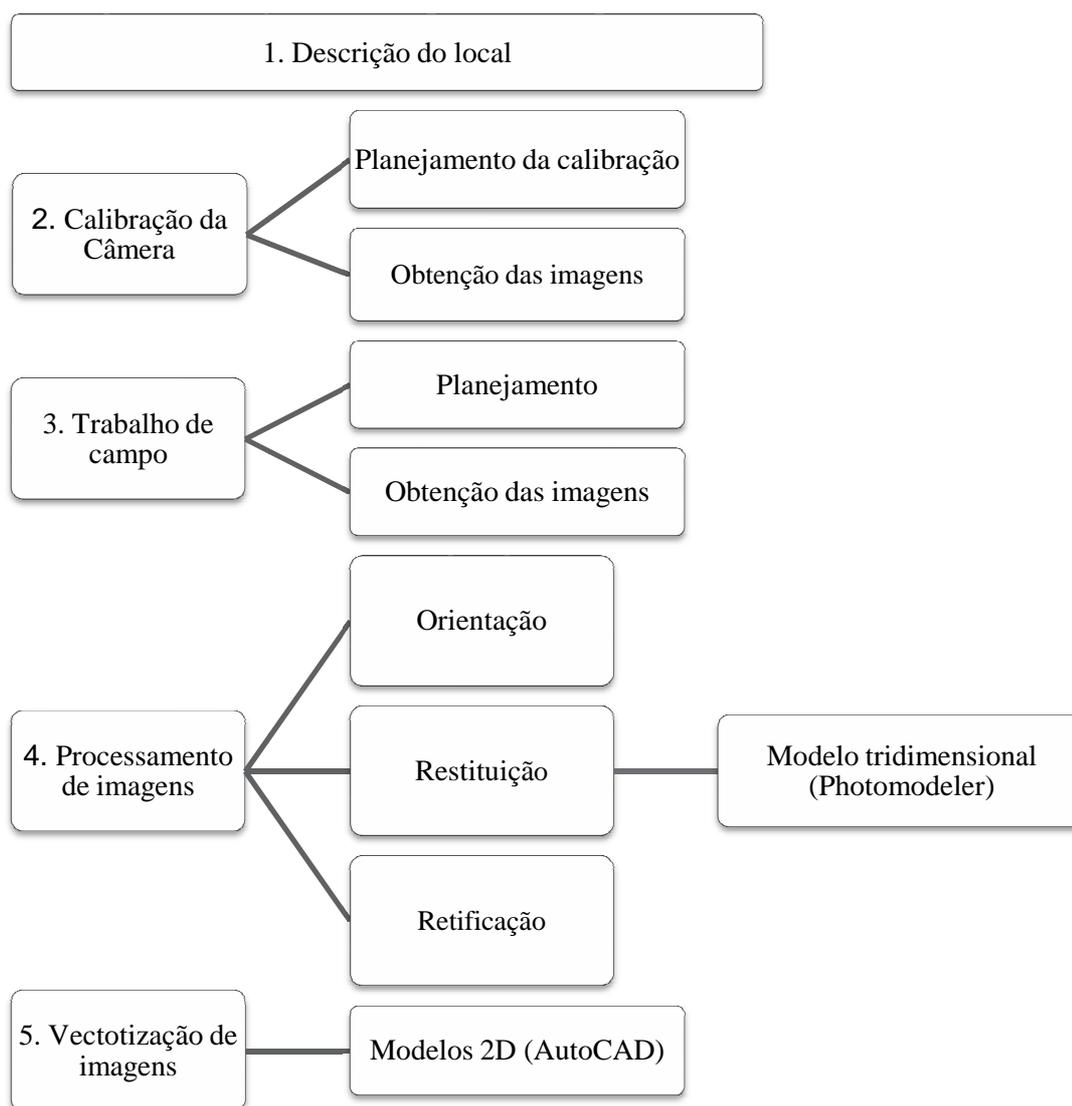


Figura 3. 6- Fluxograma da Metodologia Utilizada.

3.1 - DESCRIÇÃO DO LOCAL

Define-se a etapa de obtenção das informações necessárias para a descrição do entorno do local por meio de esboços e fotografias nos quais seja fácil a identificação dos obstáculos, posições estratégicas que permitam boa visibilidade para a tomada fotografia, definição dos eixos e medidas a serem tomadas. Esta etapa é fundamental para a precisão da documentação gerada.

3.2 - CALIBRAÇÃO DA CÂMARA

A calibração pode ser entendida como o procedimento que permite determinar um conjunto de parâmetros inerentes à câmara que possibilitem a reconstituição do feixe de luz que deu origem à imagem. Este processo é importante dado que as câmaras que sejam métricas ou não, não possuem um sistema de lentes perfeito, sofrendo diversas aberrações que têm de ser modeladas para que a sua intervenção na degradação da qualidade geométrica da imagem seja o menor possível e não comprometam a precisão dos processos fotogramétricos (SANTOS, 2003).

Foi utilizado o software *PhotoModeler* que contém o módulo de Calibração, baseado na tomada fotográfica desde várias posições de um padrão composto de pontos de alto contraste e alvos codificados ou RAD (Ringed Automatically Detected) com posições conhecidas que são identificados pelo programa, permitindo o cálculo automático de parâmetros geométricos como distância focal, coordenadas do ponto principal, parâmetros de distorção radial simétrica (K1, K2 e K3) e os parâmetros de distorção descentrada (P1 e P2), assim como os óticos das lentes e do sistema de aquisição de imagens.

3.2.1 - Planejamento da Calibração

O planejamento da calibração é feito para obter um procedimento que garante a boa preparação do ambiente e da câmara para a obtenção das fotos do modelo de calibração.

Assim, deve-se ter em conta as seguintes considerações:

- Método de Calibração;
- Lugar da Calibração.

O software conta com dois tipos de calibração o Single- Sheet (folha única) e o Multi – Sheet (várias folhas). O Single- Sheet consiste num padrão plano conformado de quatro alvos codificados em cada canto e pontos pretos formando uma malha.

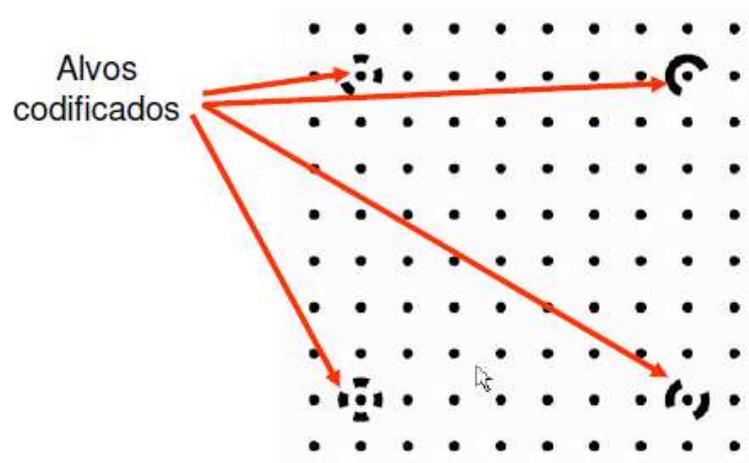


Figura 3. 7- Folha de Calibração Método Single – Sheet
Fonte: www.photomodeler.com

Permite ser executado de duas formas dependendo do tamanho da folha:

- Large Sheet (36” x 36” polegadas) para objetos de tamanho médio;
- Single Sheet (8,5” x 11” polegadas) para objetos pequenos ou levantamentos menos rigorosos.

O método Multi-Sheet é utilizado para objetos de grandes dimensões e complexidade relevante (edifícios, monumentos, igrejas, etc.) que requerem de um levantamento detalhado e boa precisão.

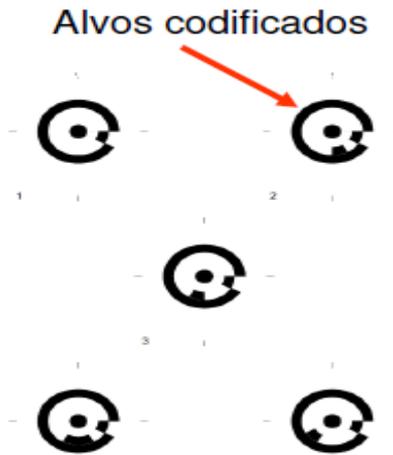


Figura 3. 8- Folha de Calibração Método Multi – Sheet
 Fonte: www.photodeler.com

Utilizam-se no mínimo 12 folhas, cada uma com cinco RAD as quais se devem colar numa superfície plana (e.g. parede ou piso) formando um arranjo retangular para garantir que todas estejam no mesmo plano.

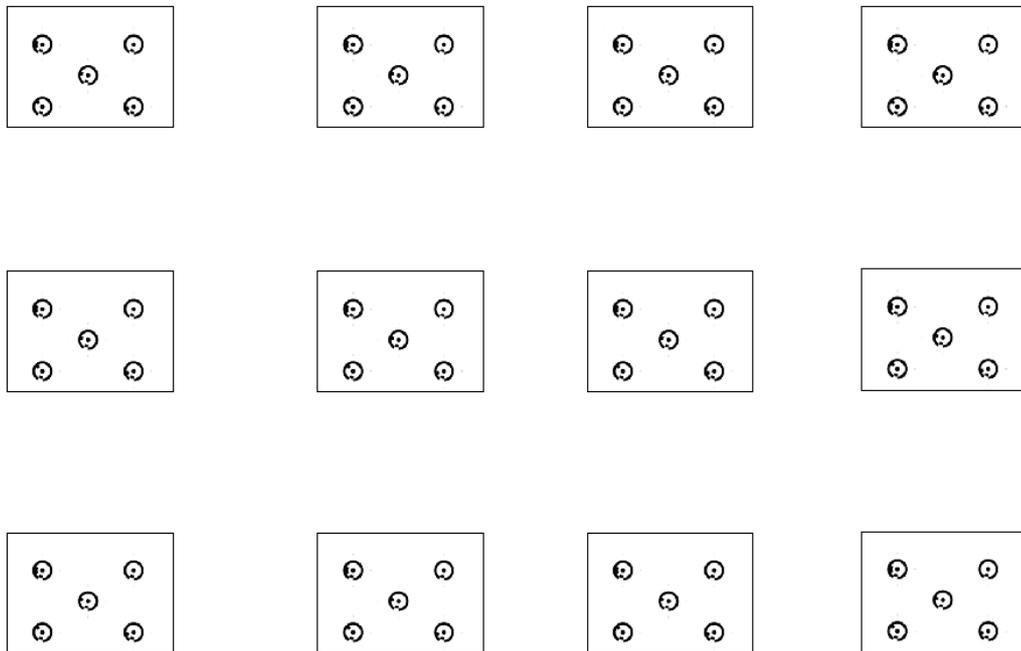


Figura 3. 9- Arranjo retangular para Calibração tipo Multi – Sheet.

O tamanho deste arranjo será definido pela distância focal da câmara que permite determinar uma distância adequada para se afastar o suficiente e conseguir o enquadramento total do arranjo.

O procedimento de calibração para qualquer dos dois métodos é igual e sua escolha dependerá das condições do objeto a levantar, sua complexidade e o grau de precisão e exatidão que requeira o trabalho.

O lugar da calibração deve ser grande e suficiente, apresentando uma ampla zona de maneira que o movimento das diferentes tomadas seja fácil, podendo-se afastar quanto seja necessário entre cada uma das fotos.

A iluminação do ambiente deve promover o maior contraste possível, tendo-se cuidado de fazer a sala suficientemente iluminada para que os pontos sejam facilmente identificados no momento de processar as imagens.

3.2.2 - Obtenção de Imagens

Esta etapa consiste em obter as fotos que serão utilizadas para executar o processo de calibração. O software aconselha obter entre 6 a 12 fotos de ângulos e posições diferentes como é apresentado nas figuras 3.10, 3.11 e 3.12. Este processo é válido para qualquer dos tipos de calibração.

6 fotos: quatro de cada canto com a câmara na horizontal e outras duas com a câmara na vertical.

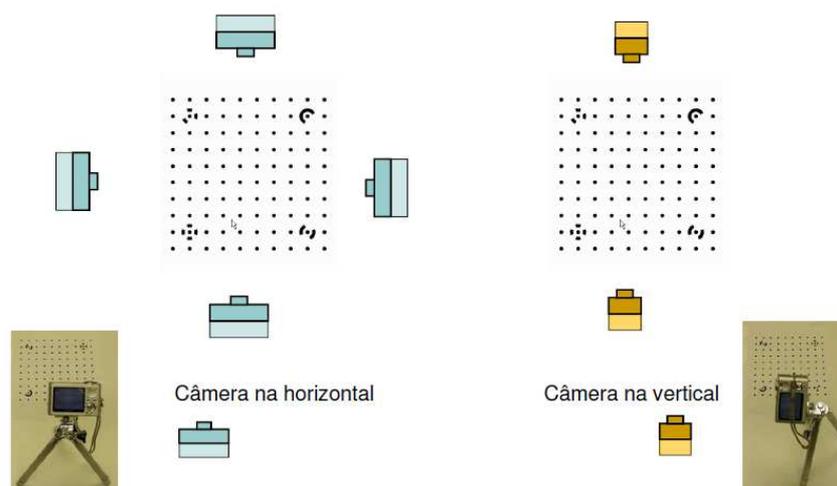


Figura 3. 10- Tomada Fotográfica para Calibração com 6 fotos (Notas de Aula, Fotogrametria Arquitetônica, GROETERLAARS, 2012).

- **8 fotos:** duas de cada canto sendo uma com a câmera na horizontal e a outra com a câmera na vertical.

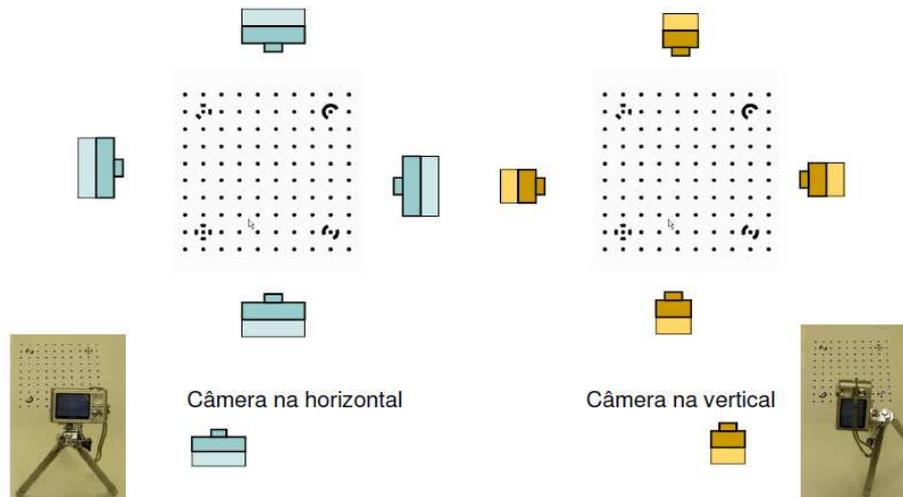


Figura 3. 11- Tomada Fotográfica para Calibração com 8 fotos
(Notas de Aula, Fotogrametria Arquitetônica, GROETERLAARS, 2012).

- **12 fotos (situação ideal):** três em cada canto, uma com a câmara horizontal, outra com a câmara girada 90° e outra com - 90°.

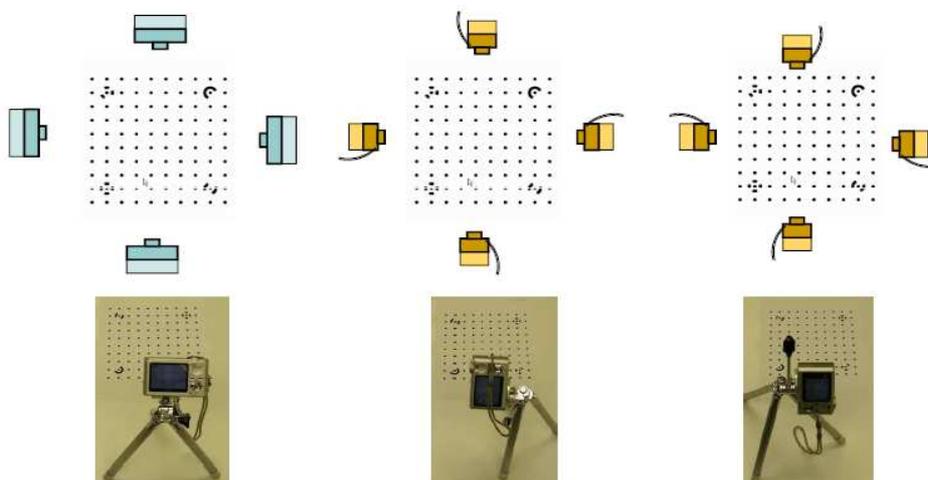


Figura 3. 12- Tomada fotográfica para calibração com 12 fotos
(Notas de Aula, Fotogrametria Arquitetônica, GROETERLAARS, 2012).

Para a obtenção das imagens em cada uma das tomadas devem-se usar os mesmos parâmetros da câmara: distância focal, resolução qualidade de imagem, devem-se desligar todas as ferramentas automatizadas da câmara, como foco automático, rotação da foto, contraste, etc.

3.3 – TRABALHO DE CAMPO

3.3.1 - Planejamento

O planejamento do trabalho de campo é uma das fases mais importantes de todo o processo, sendo a base para a criação do modelo geométrico tridimensional, condicionando bastante à precisão e exatidão obtida no trabalho final. Consiste em determinar cada uma das posições onde será localizada a câmara e conseguir o cobertura total da estrutura.

Este cobertura pode ser determinado de diferentes formas, onde a escolha do método depende da magnitude do prédio. A primeira é utilizando o processo de estereorrestituição utilizado para prédios pequenos e pouco complexos. Este consiste em determinar um conjunto de parâmetros, como por exemplo, a escala, a base ou distância entre estações (B), distância câmara - objeto (D_{oc}) e número de fotografias. Além disso, se deve ter em conta as características da câmara como a distância focal (D_f) e o ângulo de visão (Θ).

Deve-se fornecer como dado primário a escala desejada de restituição (E_r) que depende da finalidade do levantamento e da densidade de informações requeridas. Geralmente estão na ordem de 1: 50 e 1: 100. Desta forma é calculada a escala da fotografia (E_f) que é calculada de 4 até 6 vezes a escala de restituição (SOUZA et al, 2001).

Com estes dados se calcula a distância objeto – câmara (D_{oc}), sendo o produto de multiplicar a distância focal da câmara vezes a escala fotogramétrica.

Posteriormente, por meio de simples relações trigonométricas tendo em conta o ângulo de visão que depende de cada câmara pode ser calculada a distância horizontal que cada fotografia captura do terreno para assim determinar a distância entre as estações fotogramétricas que garante uma área de sobreposição de 60%.

Finalmente se calcula o número de fotografias tendo em conta o comprimento da fachada e a distância entre estações.

Assim, são solucionadas todas as variáveis permitindo conhecer quantas fotos como mínimo são necessárias, garantir que a área de sobreposição seja mínimo de 60 % e que as fotografias ficaram com uma escala aproximada para melhores resultados no momento da restituição.

O planejamento da aquisição das imagens utilizando o método de restituição por varias fotografias já permite maior campo de aplicação podendo ser utilizado para qualquer tipo de estrutura complexa ou não. Este deve ser feito tendo em consideração o posicionamento da

câmara para que a precisão do produto final seja a requerida. Assim, é importante ter atenção que as estações fotogramétricas estejam com uma separação angular próxima de 90° , além que as fotografias devem ser obtidas de forma a que todos os pontos sejam visíveis, obtendo como mínimo três (Figura 3.14).

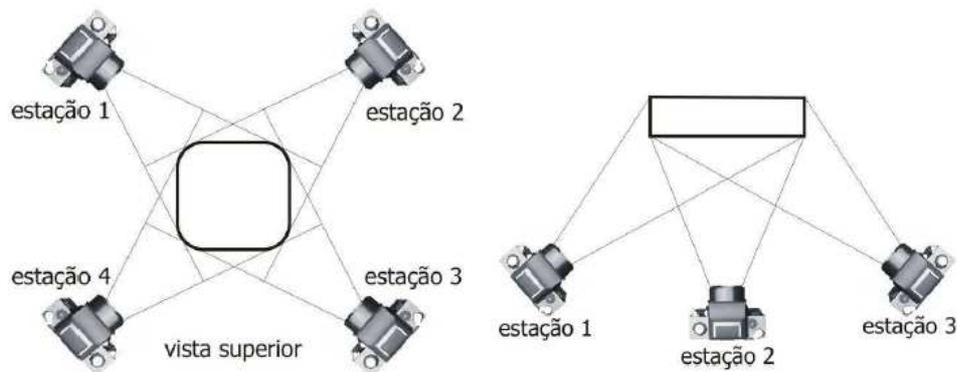


Figura 3. 13- Posições da câmara para captura de objetos (MENDEZ, 2002).

Para controlar isso, pode efetuar-se um plano de cobertura fotográfica na tentativa de obter as estações fotográficas ideais, para que em campo seja mais fácil a sua implementação.

Um parâmetro também a ter em conta é o tamanho do pixel, que quanto maior seja maior será a qualidade das fotografias. Menor distância câmara – objeto podem ser adotadas obtendo maior grau de detalhes, facilitando a identificação de elementos na restituição e produção de desenhos mais precisos.

3.3.2 - Obtenção das Imagens

Para a obtenção das imagens deve-se salientar a necessidade de se adquirir fotografias com ângulos próximos de 90° , já que quanto mais próximos os raios de luz estiverem do ângulo reto, menor será a possibilidade de erro no cálculo das coordenadas tridimensionais. Na Figura 3.15 (a) pode-se ver a localização correta de um dado ponto e a localização errada, pela introdução de um pequeno erro na localização do ponto; na Figura 3.15 (b) as coordenadas do ponto são obtidas com maior imprecisão, quando introduzido o mesmo erro, devido aos raios de luz formarem ângulos muito agudos.



Figura 3. 14- Erro associado às posições da câmara: (a) posição da câmara em estações colocadas perto do ângulo reto; (b) posição da câmara em estações com pouca separação angular (MENDEZ, 2002).

Também, deve-se saber qual é a melhor hora do dia para fotografar. O sol muito forte em certos horários produz sombras muito marcadas que poderão prejudicar a observação de alguns detalhes estruturais ou decorativos. O dia nublado, quando não há sombras pronunciadas, é ideal para se fotografar edificações, pois as nuvens difundem a luminosidade. Finalmente, as características da câmara como resolução, abertura do diafragma⁴, sensibilidade ISO⁵, tempo de exposição⁶, entre outros, devem ser considerados em cada tomada.

3.4 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Nesta etapa as imagens são manipuladas e processadas no PhotoModeler o qual permite a extração de dados, medições e gerar modelos em 3D, dimensionalmente acurados e detalhados.

O *PhotoModeler* é um software para fotogrametria digital, voltado principalmente para a restituição de fotografias terrestres, atualmente bastante difundido e utilizado (GROETERLAARS, 2004).

⁴ Diafragma, elemento físico de um sistema ótico que tem a função de limitar a dimensão do feixe de raios que atravessa o sistema. É formado por uma série de lâminas metálicas, que abrem e fecham de acordo com a regulagem, originando uma determinada abertura. Representado pelo número f, que permite regular a quantidade de luz que irá ser recebida pelo sensor. Quanto maior o valor, menor é a abertura do diafragma, e menor a quantidade de luz que atravessa a lente.

⁵ O número ISO determina a sensibilidade do sensor da câmara em capturar a luz. Quanto mais alto o número ISO, maiores as possibilidades ao fotografar cenas pouco iluminadas.

⁶ Tempo de exposição, tempo no que o sensor estará exposto à luz.

A construção do modelo 3D se baseia nos seguintes passos:

- Orientação: reconstrução da geometria interna da câmara por meio do processo de calibração e obtenção do modelo com rotação e escala.
- Restituição: reconstrução das características do objeto.
- Retificação: transformação da projeção central em ortogonal.

3.4.1 Orientação

O ponto de partida da orientação é o processo conhecido como calibração. As imagens do padrão de calibração são inseridas no software o qual detecta e identifica os alvos codificados automaticamente. Por meio de equações projetivas são resolvidos todos os parâmetros requeridos para recuperar a posição da fotografia em relação à câmara.

Os resultados são avaliados em função do erro total que o programa fornece ao terminar o processamento. Entre tanto o ideal são valores inferiores a 1,0 pixels são consideradas uma boa calibração, mas é recomendável valores entre 0,7 e 0,4 pixels ou inferiores. Outro aspecto importante é que a área coberta pelas folhas seja de no mínimo 85%.

Quando não se atende com esta condição e os valores são muito altos procede-se à identificação de erro por meio da ferramenta Residual (Visualização de fotos – Residual) que define o vetor de erro.

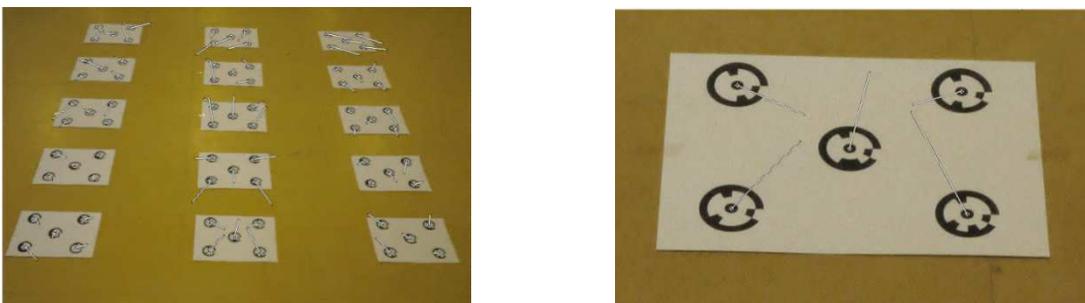


Figura 3. 15 - Vetores de Erro apresentados em cada alvo de calibração

Estes vetores são apresentados de forma aleatória indicando a melhor posição na qual deveria estar localizado o ponto. Se eles não aparecer aleatoriamente (tudo aponta em uma

direção ou em direção ao centro, etc.), isto pode ser devido às características da câmara, tal como uma lente com alta distorção.

Finalmente, pode-se usar a câmara para fins métricos e os resultados são salvos na biblioteca do software, permitindo assim utilizar o arquivo quantas vezes seja necessário e em qualquer tipo de projeto onde seja empregada a mesma câmara.

A orientação externa se realiza quando se define a escala e a posição do modelo no espaço com relação ao plano horizontal (processo de restituição). A escala é determinada por meio de uma medida conhecida recolhida no local, basicamente é o comprimento maior ou altura mais significativa.

3.4.2 - Restituição Fotogramétrica

Uma vez calibrada a câmara, são selecionadas e inseridas no software as melhores fotografias do objeto, ou seja, aquelas dotadas de maior nitidez e qualidade de imagem. Assim, por meio da marcação e identificação de pontos homólogos nas diferentes fotografias o programa faz a orientação da foto e o reconhecimento da posição dos pontos no espaço.

É recomendável que se comece com duas ou três fotografias e se faça o primeiro processamento, para depois ir incrementalmente adicionando mais pontos e mais imagens até ser possível a modelação em 3D completa do objeto.

A seguir, na Figura 3.17 é possível observar como exemplo do processo a restituição da fachada do prédio da Fundação Hansen Bahia em Cachoeira que vai sendo gerada utilizando simples ferramentas do software como pontos e linhas.

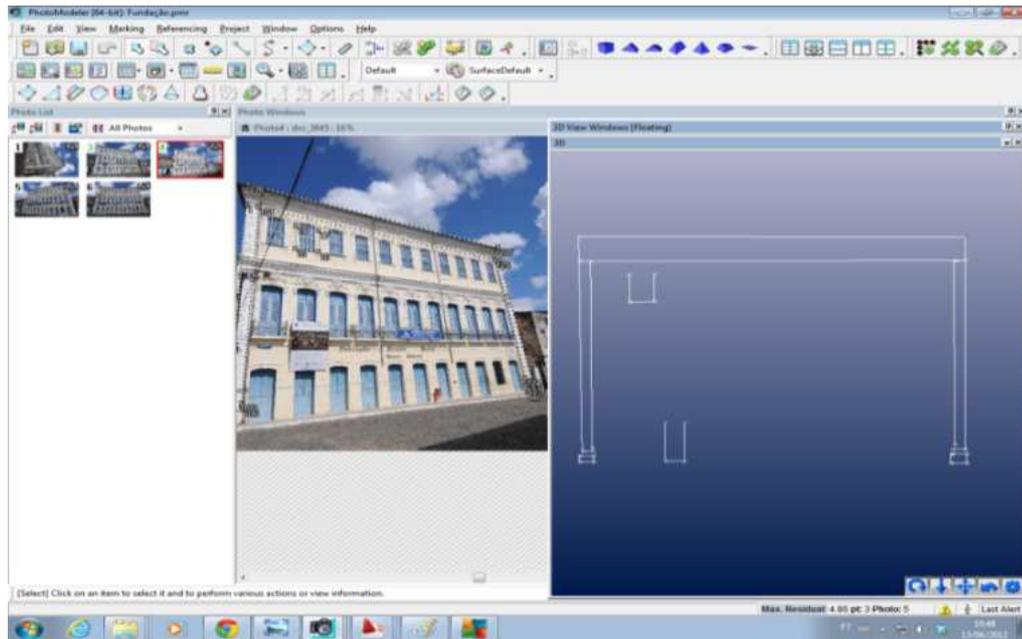


Figura 3. 16- Restituição Fotogramétrica. Fundação Hansen Bahia. Cachoeira – Bahia.

A escala do modelo é definida pelo conhecimento de uma distância entre dois pontos distintos que compõem a cena ou objeto. Isto possibilitará colocar a imagem em escala. Pode ser feito escolhendo-se dois pontos distantes da cena ou objeto, desde que estejam dentro do projeto a ser realizado. Se for o caso de fachadas, por exemplo, uma referência ideal é a base, escolhendo-se dois pontos claramente visíveis dentro da composição, fáceis de serem marcados e desde que não estejam nas bordas, a fim de eliminar a distorção existente nos cantos das fotografias. A precisão do dimensionamento está vinculada ao modo como foi medida e marcada a escala, para isto é necessário ter certeza que os dois pontos escolhidos, atendem os critérios a seguir:

- Sejam identificáveis em várias fotografias;
- Estejam consideravelmente afastados um do outro; e
- Estejam claramente definidos por extremidades contrastantes ou bordas bem definidas.

O modelo deve incluir informações contidas nas fotografias, tais como cores e texturas que são uma projeção da fotografia ou fotografias (mesmas usadas para a modelagem) sobre o modelo. Assim, é possível aumentar o realismo e registrar um número maior de detalhes, como os elementos decorativos, o estado de conservação e os problemas estruturais da edificação (SANTOS, 2003).

A restituição do prédio da Fundação Hansen Bahia localizada em Cachoeira – Bahia, foi obtida como requisito do trabalho prático do III curso de “Introdução à Fotogrametria Arquitetônica Digital” promovido pelo Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho – LCAD da Universidade Federal de Bahia (UFBA) entre os dias 17 de Abril até 4 de Maio de 2012 em Salvador. O curso tinha como principal objetivo promover formação e capacitação técnica no uso da fotogrametria de curta distância para a documentação de edificações, pela produção de documentos de diversos tipos como ortofotos, desenhos e modelos geométricos através da utilização do software *PhotoModeler*, além da difusão da Fotogrametria como uma tecnologia viável para uso no levantamento de imóveis.

Foi ministrado pela arquiteta Natalie Johanna Groetelaars na Faculdade de Arquitetura. Foram ofertadas um total de 20 vagas direcionadas aos alunos de graduação ou pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo ou Engenharia, e também técnicos e gestores de órgãos oficiais de preservação do patrimônio arquitetônico, tendo como pré-requisito o domínio do uso de ferramentas como o AutoCAD ou similares. A carga horária total de 40 horas foi distribuída em aulas práticas e teóricas em datas predeterminadas, com avaliação processual no desenvolvimento dos exercícios e do trabalho prático orientado.

3.4.3 - Retificação e Ortofotos

Trata-se de corrigir o deslocamento causado pela deformação de perspectiva, pela variação de profundidade e pela inclinação da câmera fotográfica em relação ao plano principal do objeto fotografado, para que as imagens sejam apresentadas em um sistema de projeção ortogonal.

Para a geração das ortofotos no programa, é necessário que o modelo esteja orientado (escala e eixos definidos) e com a textura devidamente aplicada no sentido horário.



Figura 3. 17- Ortofoto da Fundação Hansen Bahia. Cachoeira – Bahia, gerada no *PhotoModeler*.

Depois do modelo ser produzido, medições acuradas podem ser tiradas e o modelo pode ser exportado para um programa de edição tipo CAD.

3.5 - VETORIZAÇÃO, COM AUTOCAD.

Uma vez obtidas as ortofotos podem ser inseridas como imagem raster⁷ sobre as quais serão traçadas (vetorizadas) todos os elementos de interesse (Figura 3.19 (a)), com a finalidade de gerar uma elevação que servirá de base para o mapa de danos e para obtenção de medidas (Figura 3.19 (b)).

⁷ Imagem Raster: Informações não simbolizadas por equações matemáticas e sim por células ou pixels (GIRARDI, 2008).

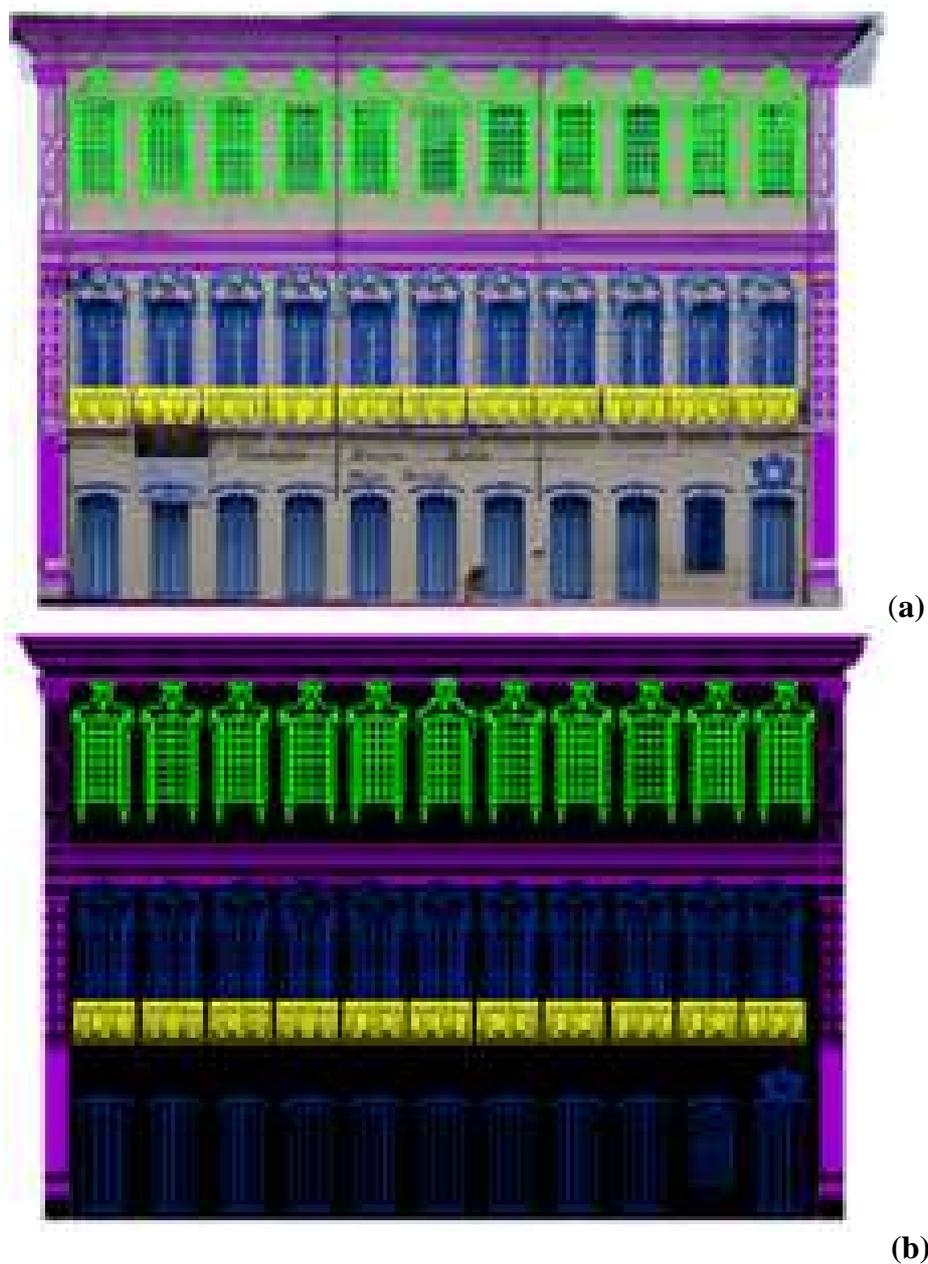


Figura 3. 18- Vetorização no AutoCAD. (a) Traçado de características na ortofoto.
(b) Desenho final produzido. Fundação Hansen Bahia. Cachoeira – Bahia.

A utilização destes produtos para a representação gráfica dos danos é caracterizada pela sua simplicidade, rapidez e baixo custo, além de ser um instrumento usado para localizar, identificar, quantificar e especificar as degradações na edificação.

3.6 - DESCRIÇÃO DO ESTUDO PILOTO

Para garantir que a metodologia adotada foi a mais adequada realizou-se um estudo piloto com a finalidade de poder conhecer as diferentes ferramentas do programa assim como para detectar, reconhecer e solucionar os inconvenientes que se podem apresentar na execução do levantamento fotogramétrico e posterior processamento de dados.

3.6.1 - Auditório de Musica UnB

Esta edificação foi escolhida por apresentar pequenas dimensões, ser fácil de acesso para o levantamento fotográfico e realização das medições diretas permitindo realizar a comparação com os resultados obtidos.

Encontra-se localizado no Campus Darcy Ribeiro e é denominado de Edifício SG 8 da Universidade de Brasília. A Figura 3. 19 mostra algumas fotografias da edificação em estudo.

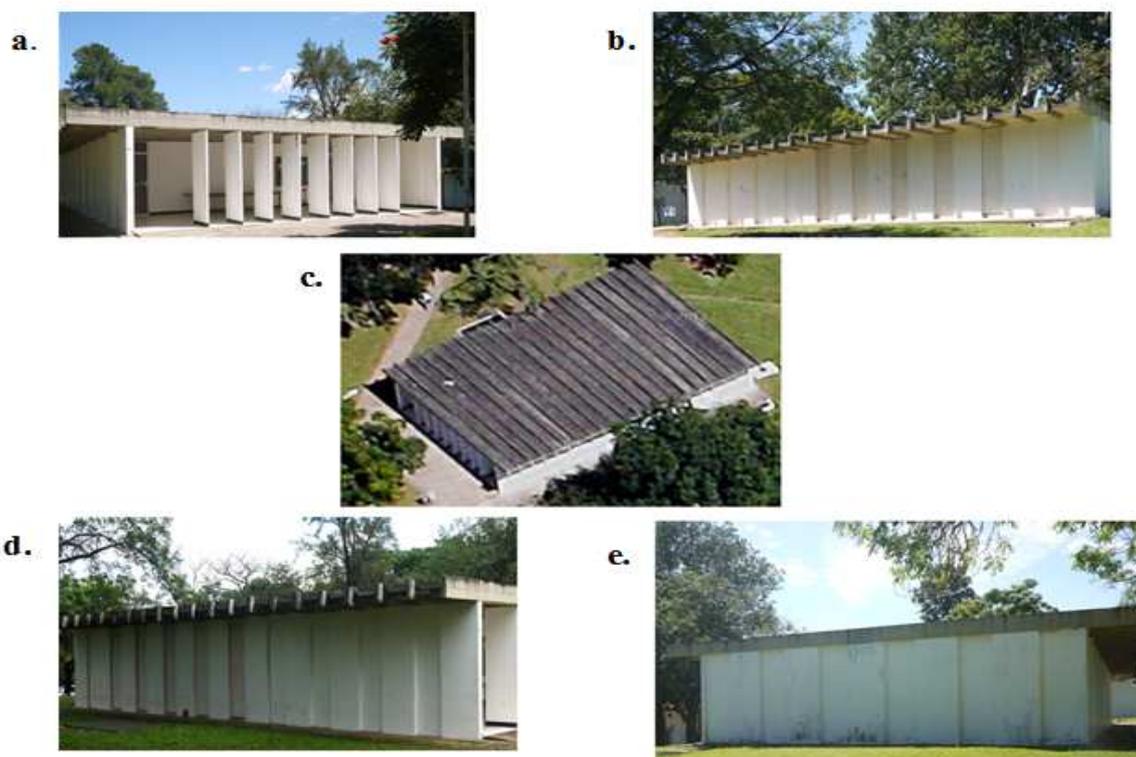


Figura 3. 19 - Auditório de Música. (a). Fachada Principal (b). Fachada Direita (c). Vista Superior. Fonte: <http://maps.google.com> (d). Fachada Esquerda e. Fachada Posterior

É uma estrutura composta por módulos retangulares (Figura 3.20) formando a partir de placas pré-moldadas medindo de 2,0 m de largura x 2,80 m de altura, e espessura de 13 cm.

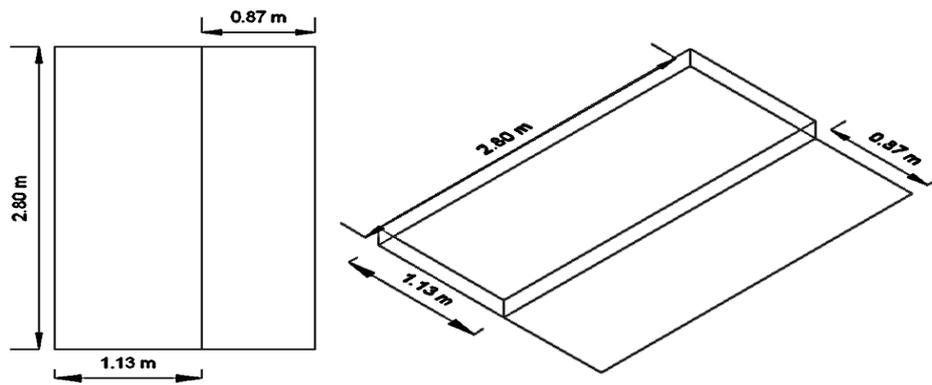


Figura 3. 20 - Vista Frontal e Isométrica das placas pré-moldadas.

3.6.2 - Avaliação do Local

Esta etapa foi realizada por meio de uma inspeção detalhada da zona para determinar as melhores posições da câmara tendo em conta visibilidade e recobrimento horizontal, assim como a procura de possíveis obstáculos. Detectou-se que a presença de árvores que impedem uma boa visualização (Figura 3.21 (a) e (b)) e prédios vizinhos que forçam que a distância câmara-objeto seja insuficiente (Figura 3.21 (c) e (d)) foram os mais frequentes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. 21- Principais Obstáculos (a) e (b). Presença de árvores que impedem boa visibilidade, (c) e (d). Distância Câmara – Objeto Insuficiente.

A partir desta avaliação, realizou-se o planejamento do levantamento, controlando os problemas encontrados e gerando melhores resultados.

3.6.3 - Calibração da Câmara

Foi utilizada a câmara Panasonic GF2 de 20 mm de distância focal equivalente a 40 mm em uma câmara de 35 mm. A tomada fotográfica para a calibração da câmara se executou em uma sala dotada de boa iluminação e ampla para se movimentar livremente entre as tomadas.

O tipo de calibração escolhido foi o método multi-sheet mencionado anteriormente e que proporciona melhores resultados. Trabalhou-se com um total de 15 folhas formato A4 cada uma com cinco RAD de diâmetro 9 mm, formando uma área de 1,60 x 1,65 metros.

O procedimento consistiu na tomada fotográfica do modelo de calibração proposto, fazendo um total de 12 fotografias que posteriormente foram inseridas no programa.

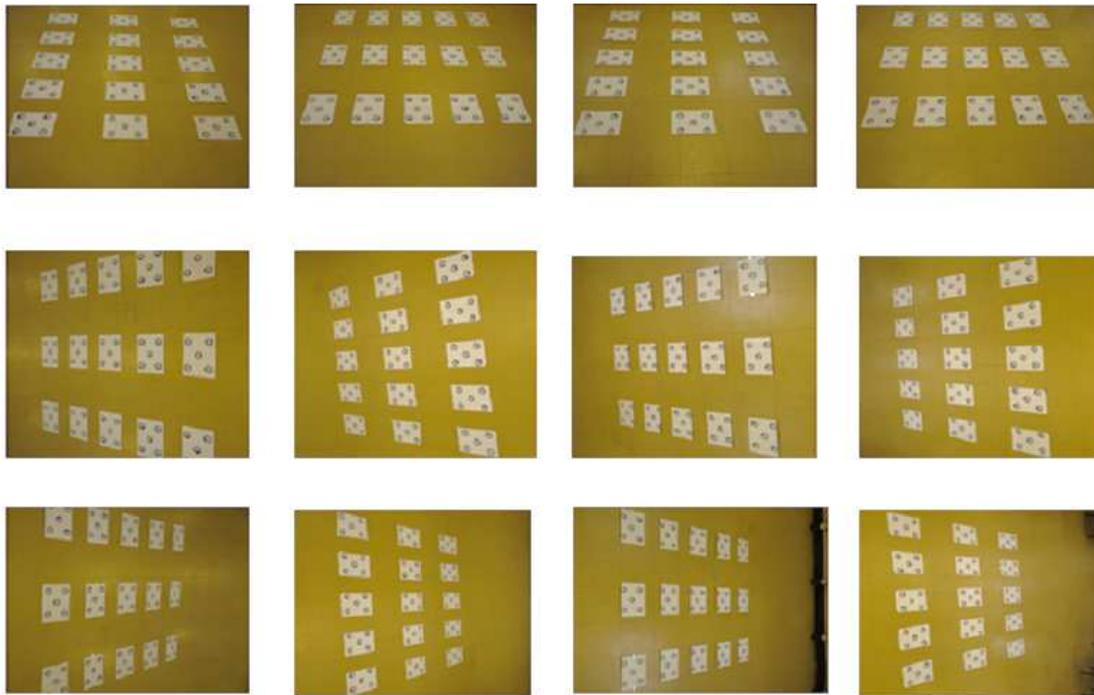


Figura 3. 22- Fotografias Calibração multi-sheet.

O programa detecta automaticamente o tipo de calibração, e imediatamente procede-se a executar o processo.

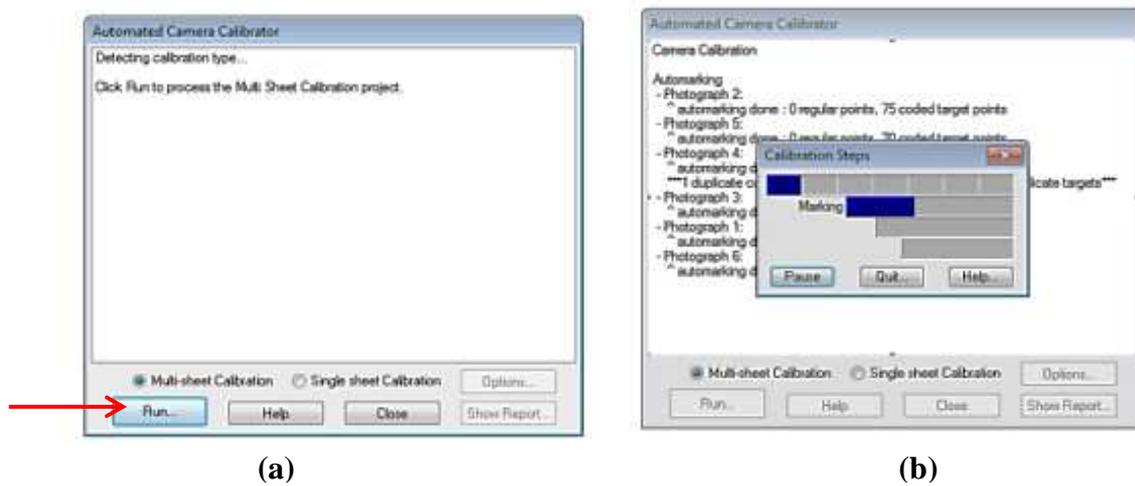


Figura 3. 23- (a) Início do Processo de Calibração (b) Processo de Calibração em Andamento.

Os resultados são resumidos na Tabela 3.6:

Tabela 3. 6- Resultados da Calibração

Distância Focal calibrada (mm)	20,15
Coordenadas (x, y) do ponto principal (mm).	x = 9,02 y = 6,71
Tamanho do sensor (mm)	Largura 18,000097 Altura 13,500000
Tamanho da imagem (pixels)	Largura 4000 Altura 3000
Parâmetros de distorção radial (K1, K2, K3).	K1 = 6,343e-005, K2 = -2,392e-007, K3 = 0
Parâmetros de distorção descentrada (P1, P2).	P1 = -3,387e-005 P2 = -2,072e-005
Erro Final (Pixels)	0,875

Segundo o Manual de ajuda do *PhotoModeler* (2012) uma calibração com erros totais menores que 1,0 pixel é aceitável para projetos que requeiram de boa precisão. No entanto, com a evolução das câmaras digitais como as que garantem a estabilidade geométrica podem-se obter valores inferiores a 0,4.

O erro da calibração foi de 0,875 pixels que se ajusta aos limites toleráveis. No entanto, é de salientar que o erro apresentado foi atribuído ao tamanho dos alvos que foi de 9,0 mm de diâmetro o que fez com que o programa não identificasse alguns pontos, em especial os localizados nos cantos do arranjo, ocasionando que ficassem fora do processo. Sabendo isto, procurou-se melhorar os resultados por meio da ferramenta *Residual* que mostra os vetores de erro permitindo modificar aqueles que fossem maiores. Assim, se conseguiu um erro final de calibração de 0,652, portanto menor que o anterior.

3.6.4 - Tomada Fotografica

As Figuras 3.25, 3.26, 3.27 e 3.28 apresentam as fotografias obtidas considerando-se os dados apresentados na Tabela 3.7.

- **Fachada Principal**



Figura 3. 24- Fotografias tomadas para a Fachada Principal

- **Fachada Esquerda**





Figura 3. 25- Fotografias tomadas para a Fachada Esquerda

- **Fachada Posterior**



Figura 3. 26 - Fotografias tomadas para a Fachada Posterior

- **Fachada Direita**



Figura 3. 27 - Fotografias tomadas para a Fachada Direita.

3.6.6 Processamento de Imagens e Resultados

As imagens foram inseridas no programa e procedeu-se à marcação de pontos homologos nas diferentes fotografias. Começa-se com os pontos que definem a geometria para depois pouco a pouco detalhar cada um dos módulos (Figura 3.28).

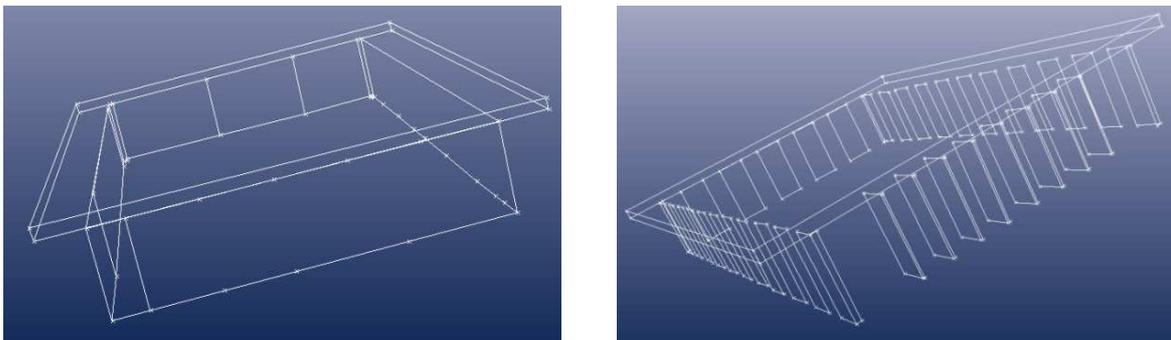


Figura 3. 28- Restituição do Auditorio de Música da UnB.

Em cada processamento o modelo geométrico tridimensional foi gerado e sua orientação externa deve ser definida por meio de uma medida conhecida permitindo obter o modelo totalmente orientado e pronto para efetuar medições. Posteriormente foi aplicadas as texturas como é apresentado na Figura 3.29.

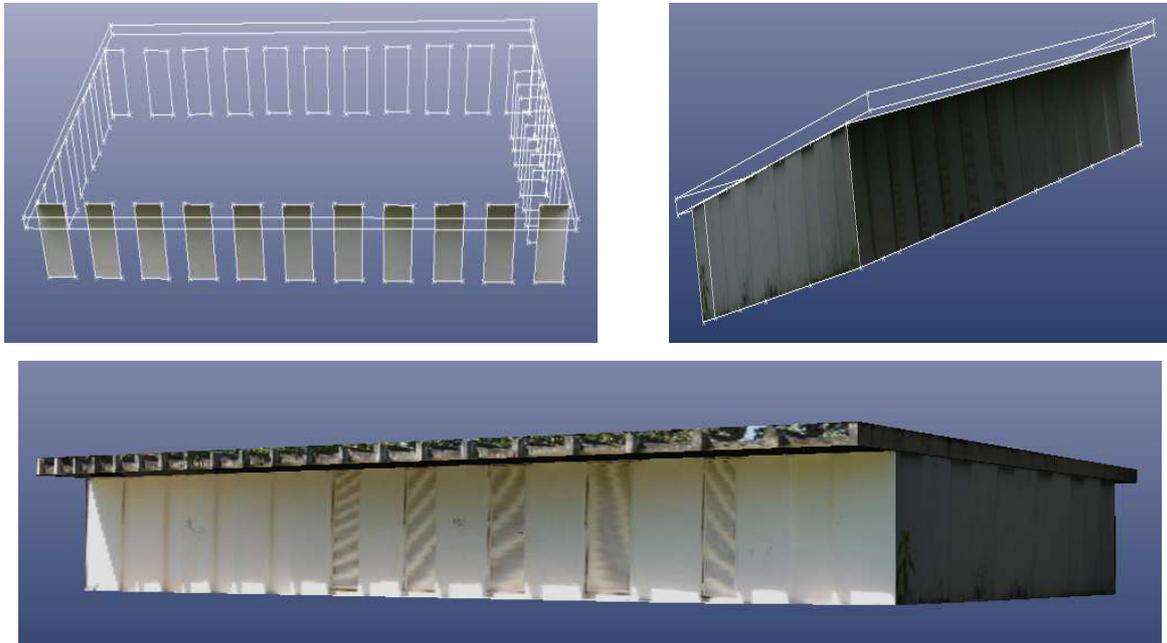


Figura 3. 29- Aplicação de texturas

Para este caso obtém-se um erro final de 1,978 pixels, que está em conformidade com os resultados para estruturas simples segundo as considerações expostas no item 2.3.4.2. O perímetro medido no local foi de 66,40 metros e a medida fornecida pelo *PhotoModeler* foi de 66,62, ou seja, uma diferença de apenas 0,33 % com relação à medida efetuada em campo que foi de 66,40 metros. O modelo é exportado para o software AutoCAD, podendo-se restituir os elementos internos de cada módulo, que no *PhotoModeler* não pode ser efetuado devido ao fato das fotos não apresentavam pontos facilmente identificáveis dificultando sua marcação.

A Figura 3.30 mostra a reconstrução do Auditorio com cada um dos módulos que o compõem.

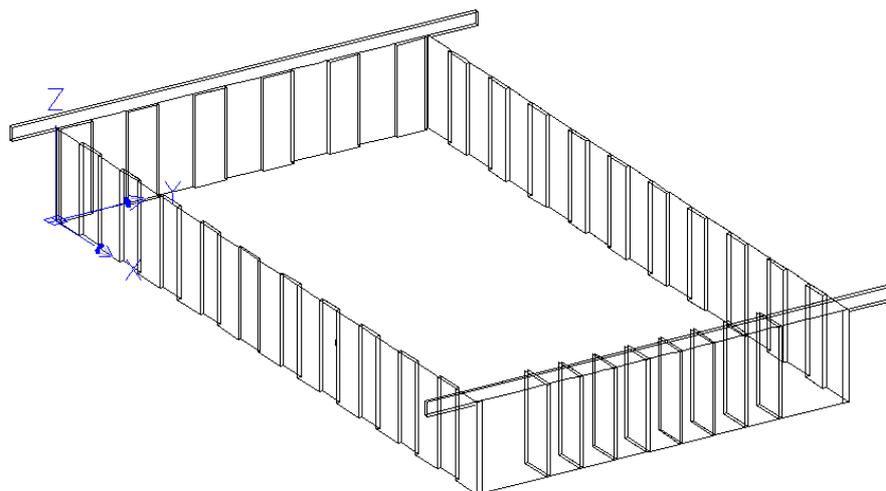


Figura 3. 30 - Modelo melhorado no AutoCAD.

Baseando-se nesta experiência prática, foi possível avaliar as ações que foram realizadas assim como dominar o ambiente *PhotoModeler* e começar a exploração de ferramentas e características do software. Desta maneira, em resumo, destaca-se as seguintes ações:

- Devem-se procurar os melhores locais das tomadas fotográficas controlando sempre para que se tenha boa visibilidade de todos os elementos de interesse;
- A distância câmara – objeto deve ser similar com a finalidade de que a escala das imagens seja aproximada em cada uma;
- É importante realizar uma boa marcação com a maior coerência possível os pontos das diferentes fotografias no *PhotoModeler*, devido que influencia diretamente a precisão do modelo;
- Avaliação da precisão do levantamento por meio da comparação de medidas entre o modelo produzido e as medições feitas no local.
- A principal limitação encontrada no software foi que a restituição está limitada por pontos facilmente identificáveis. Quando este fato não se cumpre a reconstrução de elementos não pode ser efetuada tendo que recorrer ao auxílio de outros programas de desenho tipo CAD.

4- ESTUDO DE CASO

4.1- PALACIO ITAMARATY

Sede do Ministério das Relações Exteriores, o Palácio Itamaraty é um fruto da arquitetura de Oscar Niemeyer, dos cálculos do Joaquim Cardozo e da ousadia do arquiteto Milton Ramos, que criaram uma obra extraordinária, tornando-a um patrimônio da Arquitetura e Engenharia brasileiras do século XX. A figura 4.1 ilustra duas fachadas do edifício em estudo.



Figura 4. 1- Palácio Itamaraty. Foto da autora (2012).

Localizado na Esplanada dos Ministérios, na Praça dos Três Poderes, ao lado do Congresso Nacional foi construído entre 1963 e 1970 na consolidação da monumentalidade empregada na construção de Brasília. É valorizado pelas quatro fachadas todas em concreto aparente, cada uma constituída por linhas de 15 pilares que sustentam uma sucessão ritmada de arcos plenos distantes 6,00 m entre si. Possui em planta uma estrutura quadrada de 86 metros de lado e uma altura de 17,56 metros, sendo 4,27 metros no subsolo (SANTOS Jr, 2004). A Figura 4.2 destaca a fachada principal do Palácio Itamaraty.



Figura 4. 2 - Fachada Principal Palácio Itamaraty. Foto da autora (2012).

As muitas descrições e apreciações feitas sobre o Itamaraty nunca deixam de mencionar a presença decisiva de Milton Ramos, braço direito de Oscar Niemeyer, no projeto executivo e responsável técnico da obra, que com muita destreza utilizou soluções fantásticas para observância do projeto arquitetônico.

Os arcos intermediários – em semicírculo com raios de 2,80 m – e os arcos extremos, que possuem um raio ligeiramente menor: 2,497 m (Figura 4.3) formados por segmentos de curva traçados a partir de uma linha 15 cm abaixo da linha-base do arco pleno, a fim de ajustar a curvatura e sua tangência com a coluna da extremidade, que possui em planta, uma inclinação de 45° em relação ao alinhamento da arcada.



Figura 4. 3– Arcos externos e internos

Esta diferença é devida à correção visual necessária à percepção do prédio, cujo princípio remonta à antiguidade clássica, quando os gregos desenvolveram o cálculo para a inclinação das colunas, de modo que estas pudessem ter o correto efeito de prumo aos nossos olhos (ROSSETTI, 2009).



Figura 4. 4- Fachada principal pilares externos e internos

Todos estes acertos foram conseguidos por Milton Ramos durante a execução não apenas com traço no papel, mas sim por meio de modelos reduzidos e protótipos em escala 1:1, nos quais era possível estudar e averiguar os efeitos de luz e sombra, testar a mistura dos agregados, as variações dimensionais e principalmente o desenho das fôrmas, empregando o concreto dentro de todas as possibilidades plásticas e estruturais da época (ROSSETTI, 2009).

Estas características tornam o Palácio Itamaraty uma estrutura adequada para avaliar as múltiplas vantagens da fotogrametria digital, pois devido a sua complexidade e suas formas, os métodos tradicionais ficam limitados, evitando obter em muitos casos medições em sítios inacessíveis. Assim, a fotogrametria surge como auxílio a estas técnicas e torna-se uma solução para o fornecimento de documentação gráfica para trabalhos de restauração e manutenção.

É importante destacar que o Setor de Arquitetura e Engenharia do Ministério das Relações Exteriores forneceu as plantas do Palácio que foram decorrentes de um levantamento topográfico realizado por estagiários da mesma entidade. Assim facilitou realizar a confrontação dos resultados obtidos com aqueles alcançados por meio da aplicação da técnica da Fotogrametria digital.

Estas comparações foram realizadas para as fachadas tendo em conta que o levantamento destes componentes foi efetuado tanto com a câmara Nikon D 700 que se descreve ao longo do presente capítulo, assim como com a câmara Panasonic GF2 cujo levantamento é apresentando detalhadamente no Apêndice A. Desta maneira é possível avaliar as vantagens e desvantagens de cada câmara assim como a qualidade dos resultados.

O levantamento aéreo permitiu a representação gráfica da cobertura e foi efetuado com a câmara Sony Nex-C3 e com a câmara Panasonic GF2. Desta maneira também foram efetuadas comparações dos resultados obtidos por cada câmara, assim como cada um com relação aos desenhos fornecidos.

4.2 - AVALIAÇÃO DO LOCAL

Foi realizada por meio de uma vistoria no local que permitiu realizar esboços que identificaram os principais obstáculos, conforme apresentado na Figura 4.5.

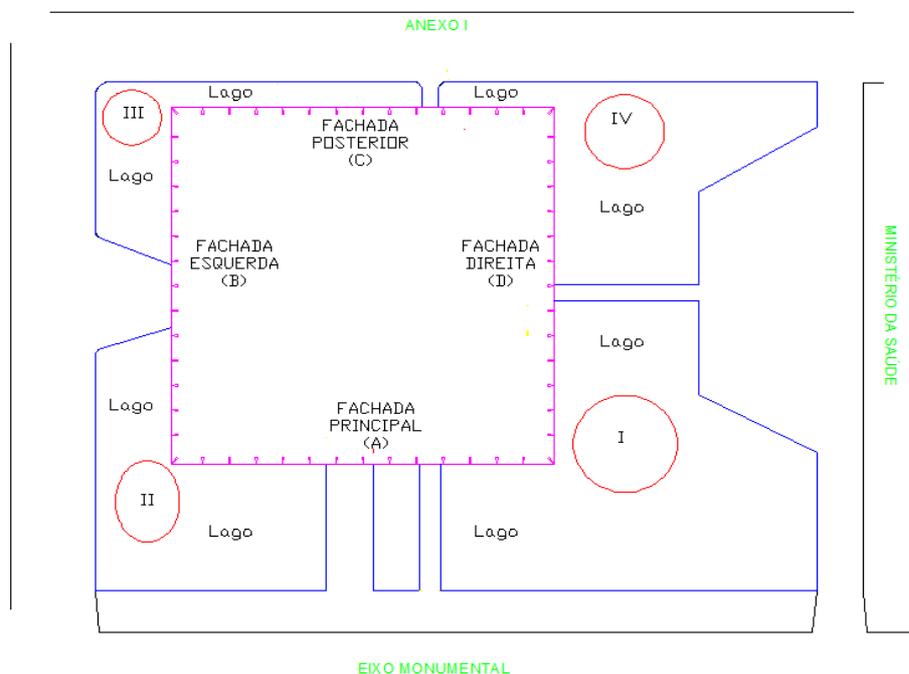


Figura 4. 5 - Planta Palácio Itamaraty, identificação de Obstáculos. Modificada (Setor de Arquitetura e Engenharia do Ministério das Relações Exteriores)

- A Estrutura do lago (linhas azuis) mostrada na Figura 4.5 circunda todo o prédio e dificulta tomar fotografias com distâncias próximas entre câmara - objeto.
- Distância insuficiente entre a câmara – objeto (Figura 4.6) na fachada posterior (C) pela presença do ANEXO I (estrutura de prisma retangular unido ao palácio por meio de duas passarelas envidraçadas na altura do segundo andar), evitando se afastar o suficiente para capturar maiores áreas e fotografias perpendiculares á fachada.



Figura 4. 6 - Distância insuficiente câmara - fachada C

c. Presença de vegetação (círculos vermelhos) – Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10.



Figura 4. 7 - Presença de vegetação Zona I



Figura 4. 8 - Presença de vegetação Zona II



Figura 4. 9 - Presença de vegetação Zona III



Figura 4. 10 - Presença de vegetação Zona IV

Os dados são utilizados para proceder a determinar as melhores soluções.

4.3 - CALIBRAÇÃO DA CÂMARA

Os trabalhos foram realizados utilizando três câmaras diferentes, uma Nikon D 700, uma Panasonic Lumix GF2 e uma Sony Nex – C3 (especificações mostradas no item 3.1).

Para o caso da Nikon D 700 os parâmetros de orientação interna são conhecidos por meio do certificado de calibração fornecido pelo *Laboratório Trimble*⁸. Os dados são apresentados na Tabela 4.1.

⁸ Laboratório Trimble fornecedor de soluções de posicionamento avançados como GPS (Global Positioning Systems), telémetros laser e sistemas de navegação inercial, utilizando o software *Rollei Metric*.

Tabela 4. 1 - Parâmetros de calibração fornecidos pelo fabricante. Nikon D 700

Distância Focal calibrada (mm)	-20,282
Coordenadas (x, y) do ponto principal (mm)	x= -0,106 y = 0,009
Tamanho do sensor (mm)	Largura 36,176 Altura 24,072
Tamanho da imagem (pixels)	Largura 4256 Altura 2832
Parâmetros de distorção radial (K1, K2, K3)	K1 = - 2,445 e-04, K2 = 4,309 e-007, K3 = 0

No entanto, foi necessário efetuar o processo de calibração utilizando o software *PhotoModeler* seguindo a metodologia já mencionada, pois a calibração da Trimble é feita para o software *Rolleimetric*. Esta foi realizada tendo em conta as mesmas características da câmara como distância focal, profundidade de campo, velocidade, contraste, etc. Desta forma foram tiradas doze fotos desde posições diferentes obtendo os resultados observados na Tabela 4.2.

Tabela 4. 2 - Resultados da calibração *PhotoModeler*. Nikon D700

Distância Focal calibrada (mm)	20,4992
Coordenadas (x, y) do ponto principal (mm).	x= 18,1788 y = 12,0740
Tamanho do sensor (mm)	Largura 35,9963 Altura 23,9549
Tamanho da imagem (pixels)	Largura 4256 Altura 2832
Parâmetros de distorção radial (K1, K2, K3).	K1 = 2,731e-004, K2 = -4,727e-007, K3 = 0
Parâmetros de distorção descentrada (P1, P2).	P1 = -1,154e-005 P2 = -3,8462e-006
Erro Final	0,504

Tendo em vista a ótima calibração realizada pelo software *PhotoModeler* (erro de 0,504) adotou-se, no presente trabalho esta calibração.

As outras câmaras seguem o mesmo procedimento e os resultados são salvos na biblioteca do software.

4.4 - TOMADA FOTOGRÁFICA

As fotografias ao longo das quatro fachadas do Palácio foram obtidas tendo em consideração as posições fotográficas do plano de aquisição apresentado na Figura 4.11, no qual foram controlados os principais obstáculos mencionados no item anterior.

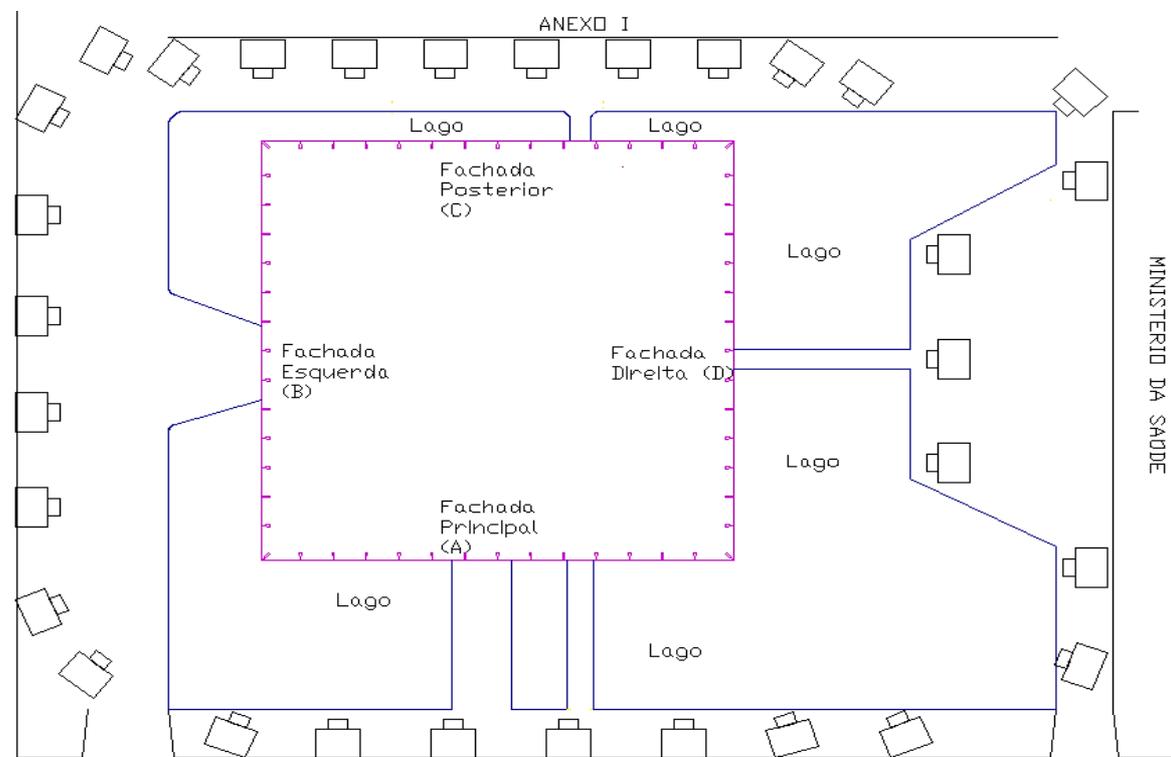


Figura 4. 11 – Plano de distribuição das estações fotográficas.

Primeiramente, foram feitas as tomadas fotográficas da fachada principal (A) por ser a que menos apresentava obstáculos quanto à visibilidade permitindo fotografar grandes áreas dos elementos de interesse, levando-se em conta as seguintes recomendações válidas para cada uma das fachadas;

- Correta localização das estações fotográficas;
- Configurar a câmara com as mesmas características utilizadas na calibração;

- Utilização de tripé (para evitar fotos “tremidas” ou “borradas” e, conseqüentemente, aumentar a nitidez).

Cabe salientar que as fotografias foram adquiridas perpendiculares a cada uma das fachadas obtendo-se áreas de sobreposição na faixa de 76 % até 87% permitindo que a restituição não apresentara problemas, mas deveu-se controlar que cada ponto se apresentara em pelo menos três fotografias. Imagens oblíquas foram obtidas desde cada um dos cantos do prédio e assim realizar a união entre cada fachada, ou seja, as imagens oblíquas necessitavam registrar duas fachadas de vez ou pelo menos pontos comuns.

Para a fachada principal foram tiradas seis fotos, apresentadas na Figura 4.12 a uma distância de 32, 50 metros.



Figura 4. 12 - Fotografias da fachada principal

Para a fachada posterior as fotografias foram tiradas a uma distância de 21,5 metros, com uma distância 7,5 metros entre estações, menor que a projetada com a finalidade de obter fotografias com maiores áreas de sobreposição para facilitar o processo de modelagem, conforme explicado na Figura 4.13.





Figura 4. 13 - Fotografias da fachada posterior

Para a fachada esquerda (B) e direita (D) a tomada fotográfica não apresentou inconvenientes não previstos e procurou-se posicionar a câmara em locais com boa visibilidade quando a vegetação não permitia adquirir significativa quantidade de detalhes (Figuras 4.14 e 4.15).





Figura 4. 14 - Fotografias da fachada esquerda.

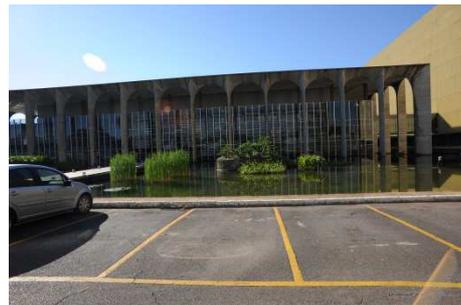


Figura 4. 15 - Fotografias da fachada direita.

Finalmente foram obtidas fotos da cobertura, tiradas desde a parte superior do ANEXO I, um total de sete a uma altura de 32 metros, apresentadas na Figura 4.16.



Figura 4. 16 - Fotos da cobertura

4.6 - RESTITUIÇÃO

A restituição fotogramétrica no *PhotoModeler* foi dividida em três fases:

- Obtenção do modelo geométrico tridimensional;
- Orientação externa;
- Aplicação das texturas.

Para gerar o modelo geométrico tridimensional começa-se com a inserção no programa de dois até três fotografias que contenham áreas comuns da fachada e permitam melhor visualização dos elementos de interesse. Deve-se ter em conta que ao iniciar um novo projeto no *PhotoModeler* o arquivo .CAM gerado no processo de calibração é carregado de modo que todas as imagens tenham os mesmos parâmetros de orientação interna.

Escolhe-se uma fotografia que servirá de referência e com a ferramenta linha procede-se a delimitar o contorno dos pilares. Posteriormente cada um dos pontos marcados são cuidadosamente referenciados nas outras fotografias (Figura 4.17).

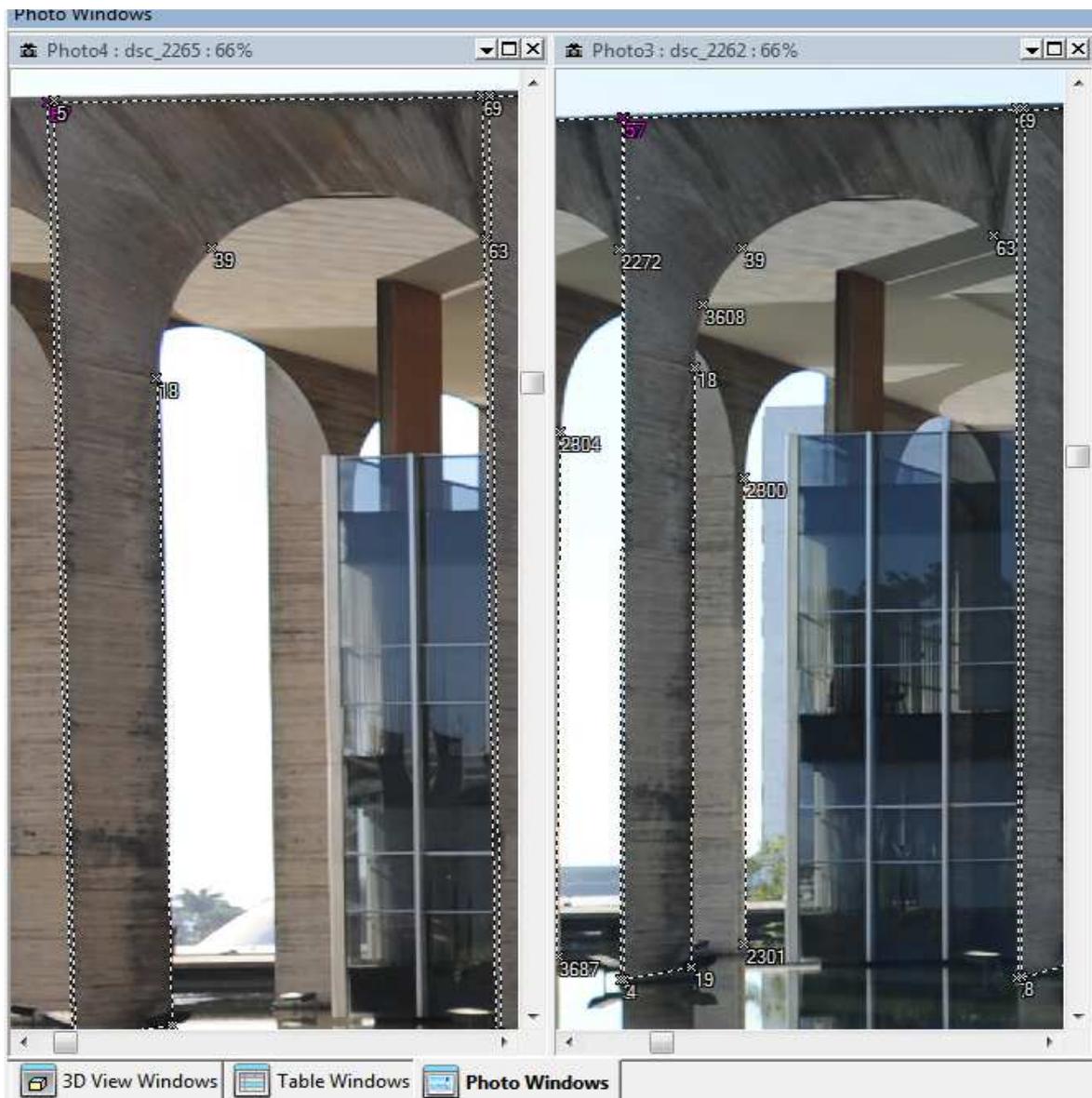


Figura 4. 17 - Marcação das feições nas diferentes fotografias.

Para controlar a correta marcação dos pontos utilizou-se a ajuda do Identificador – ID que é a numeração automática que o programa realiza na ordem em que os pontos são marcados nas fotografias, ou seja, o primeiro ponto marcado terá o ID igual a 1 e assim sucessivamente.

Para a restituição dos arcos são necessários no mínimo seis pontos que descrevam sua trajetória; e com o comando curva o arco é perfeitamente traçado (Figura 4.18).

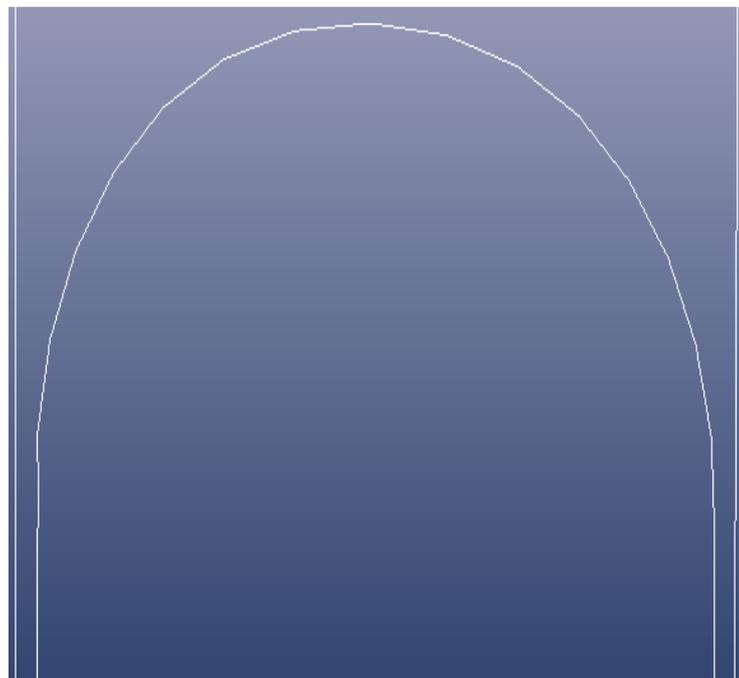
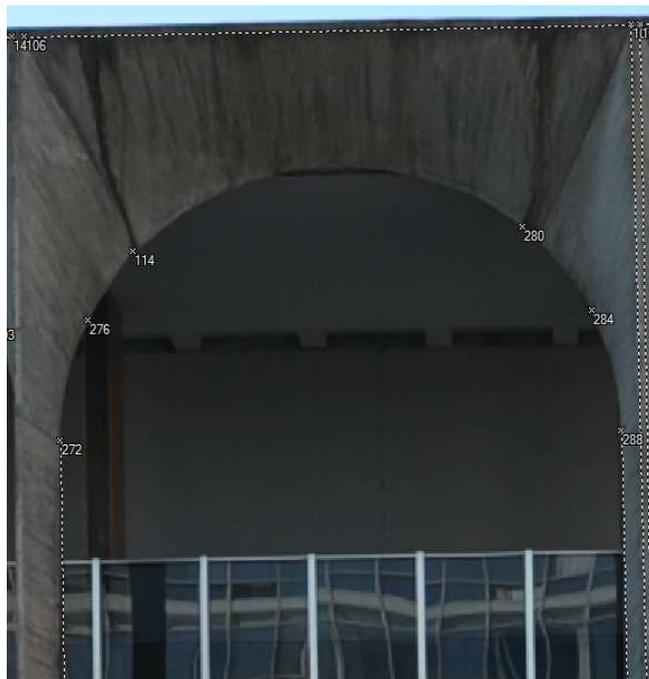


Figura 4. 18 - Marcação dos arcos.

Executa-se o primeiro processamento verificando que o modelo está de acordo com a realidade. Além disso, deve-se levar em conta que os valores do erro total em cada processo estejam dentro dos limites aceitáveis. Este último pode ser conseguido por meio do relatório do estado do projeto, no menu *Projet*, onde pode-se conhecer os ângulos entre cada fotografia, o valor do erro residual e *tightness* (item 2.3.4.1), erro total (item 2.3.4.2), precisão dos pontos, etc., permitindo avaliar se qualquer um dos pontos foram susceptíveis de ser mal localizados no espaço 3D. Sabendo-se isso, pode se ter maior controle na geração do modelo que é construído à medida que os pontos vão sendo incluídos nas fotografias.

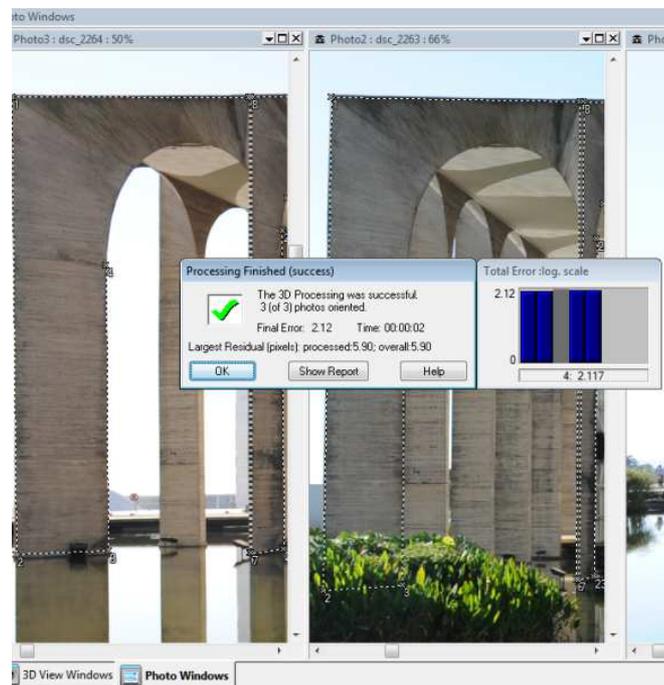


Figura 4. 19- Erro total do primeiro processamento.

Foram inseridas mais fotografias e procedeu-se da mesma forma mencionada anteriormente até obter o modelo completo.

A orientação externa consiste na determinação da escala e rotação do modelo (eixos x, y e z). Trata-se de selecionar dois pontos no *PhotoModeler*, preferivelmente aqueles que estejam representando a distância maior e informar o valor real da distância compreendida entre eles. Geralmente é adquirido em medições em campo ou das plantas originais quando elas estejam disponíveis e conferem com o “*as built*”.

No caso presente, o valor foi de 86 metros medidos do alinhamento superior adquirido das medições efetuadas nas plantas fornecidas pelo Departamento de Arquitetura e Engenharia do

Palácio Itamaraty utilizando o software AutoCAD. Desta maneira, este valor é fornecido ao *PhotoModeler* e automaticamente o modelo é escalado (Figura 4.20).

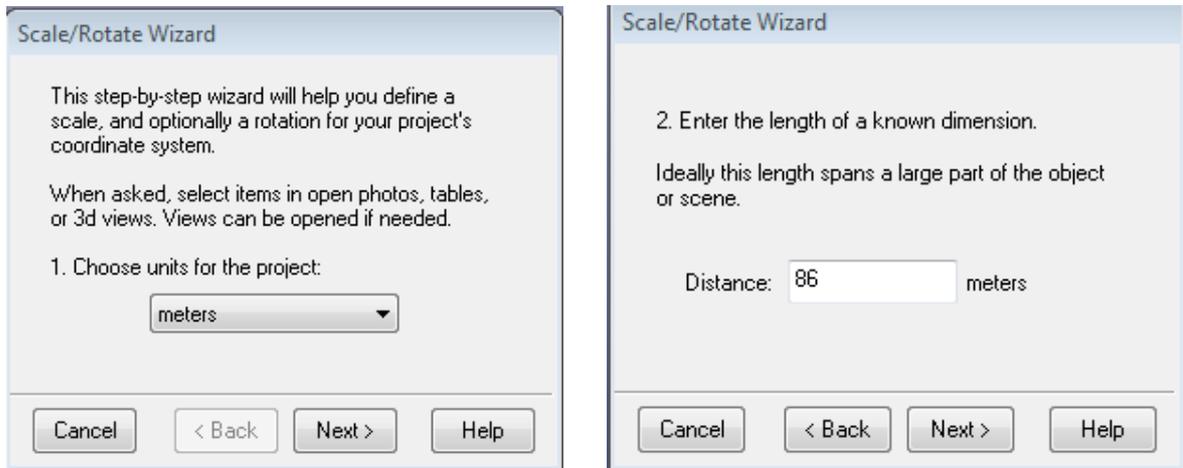


Figura 4. 20 - Definição da escala para orientação externa

Para a escolha dos eixos se definem três pontos. Os dois primeiros determinam a direção do eixo X que por defeito do programa é de esquerda – direita, e a direção do eixo Z de abaixo para cima (Figura 4.21) a partir da origem. O eixo Y representa a profundidade do modelo e sua direção é definida da frente para trás.

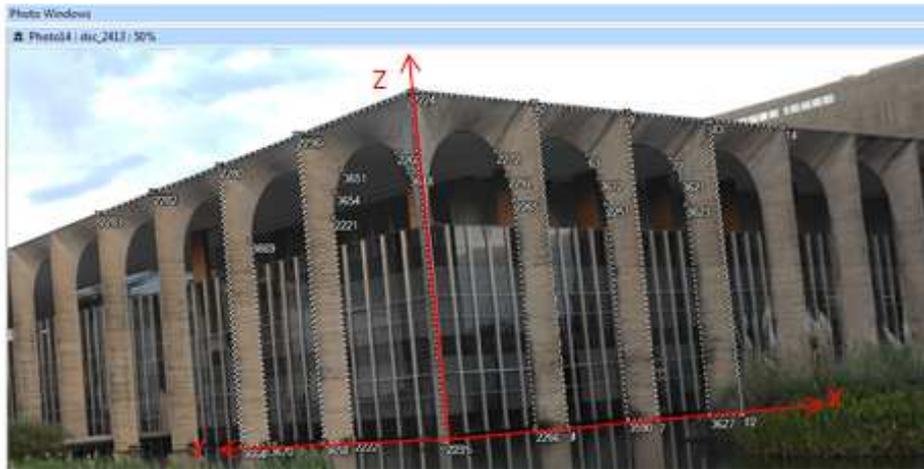


Figura 4. 21 - Definição de eixos X, Y, Z.

Com a correta determinação destes dois parâmetros tem-se o modelo devidamente orientado em estrutura de arame, permitindo a obtenção de medidas acuradas como ângulos, comprimentos, áreas e volumes de qualquer tipo em qualquer parte da estrutura.

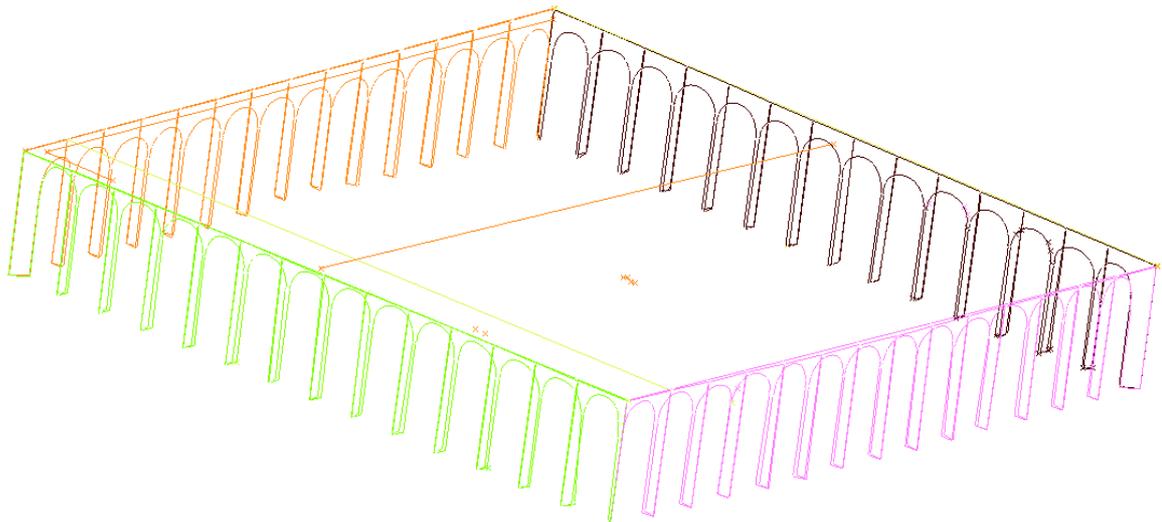


Figura 4. 22 - Palácio Itamaraty em Estrutura de Arame. Fachada direita (verde), Fachada principal (laranja), Fachada esquerda (vermelha), Fachada posterior (roxa).

Posteriormente, começa-se a aplicação de texturas ou superfícies, método baseado na projeção de uma ou várias fotografias (mesmas utilizadas na modelagem) sobre o modelo. Deste modo, se obtém um mapeamento preciso sobre geometria obtida com precisão, sendo por isso um método recomendado e muito utilizado em objetos onde é necessário um ajuste

exato, como telhados e fachadas de edifícios (MENDEZ, 2002). Esta ferramenta permite dar um aspecto real ao objeto criado no *PhotoModeler*.

O programa permite escolher o tipo de textura que será aplicada dependendo do realismo que queira atribuir-se, além da qualidade que se queira proporcionar às ortofotos. Estas superfícies podem ser criadas em oito formas diferentes descritas na Tabela 4.6.

Tabela 4. 3 - Tipos de Superfície no *PhotoModeler*. Modificada.
(MANUAL DE AJUDA *PhotoModeler* 2012).

ID	TIPO DE SUPERFÍCIE	MÍNIMO DE OBJETOS NECESSÁRIOS PARA SUA CRIAÇÃO
	Path	N lados ou 3 pontos, 1 ponto e uma linha ou uma borda, 2 linhas ou arestas, ou 1 curva
	Triangle	3 pontos ou 1 ponto e uma linha ou uma borda
	Loft	Gera superfície envolvendo objetos selecionados (linhas, arestas e curvas)
	Sweep	Superfície gerada pela translação de uma seção ao longo de um caminho (linhas, arestas e curvas)
	Revolution	Superfície de revolução (2 curvas, linhas, arestas)
	Boundary Path	Superfície gerada pela seleção de 2 (não adjacentes) a 4 linhas/curvas;
	Cone	Superfície criada a partir da seleção de um ponto e de uma curva
	Mark silhouettes	Cria uma superfície a partir da seleção do contorno do objeto

No modelo foi utilizada a ferramenta *Path*, por não existir limite para o número de lados, permitindo sua fácil aplicação. O procedimento é realizado para cada fachada pilar por pilar (Figura 4.23) percorrendo os contornos no sentido horário.

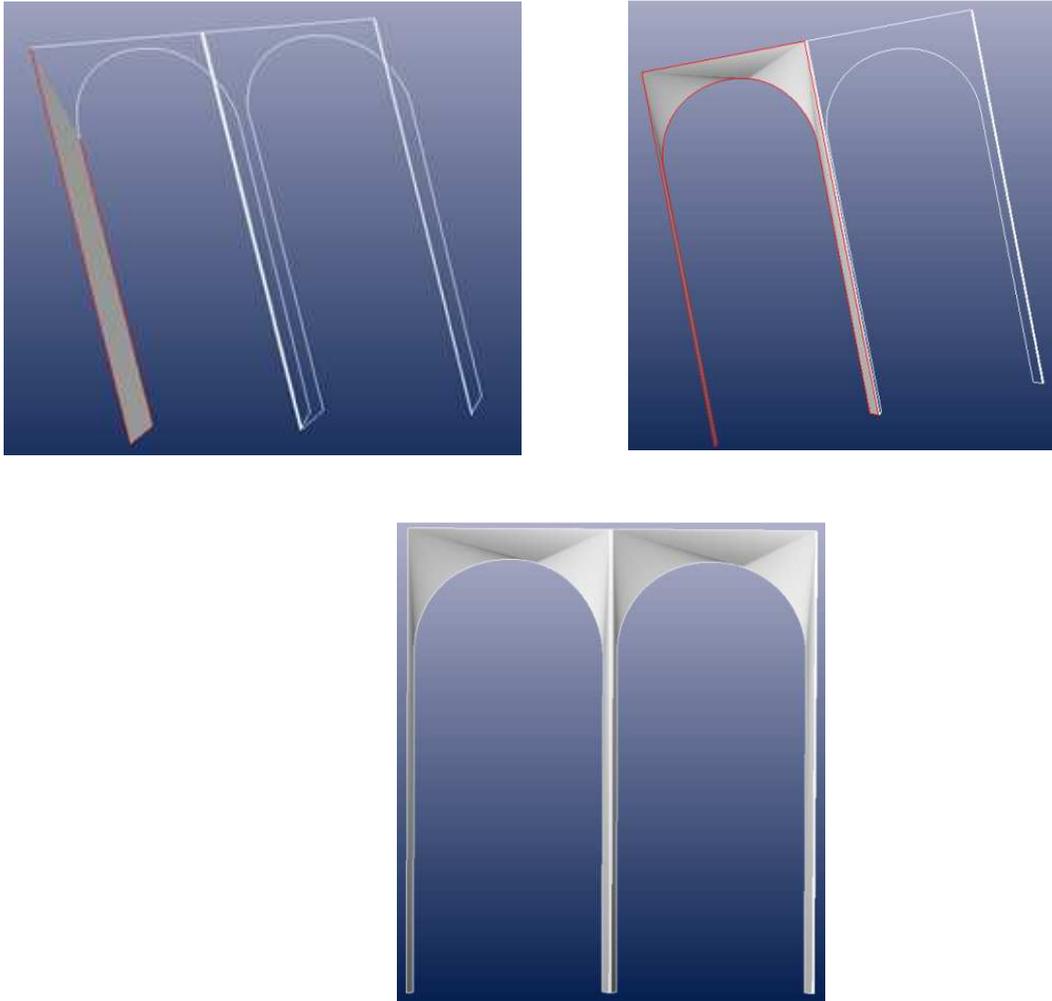


Figura 4. 23- Aplicação de textura nos pilares

Desta maneira quando o modelo esteja com todas as texturas aplicadas em cada elemento da fachada (Figura 4.24), procede-se a exportação das ortofotos que devem ser produzidas com uma resolução maior ou igual às fotos originais para adquirir melhor detalhamento na produção dos mapas de danos.

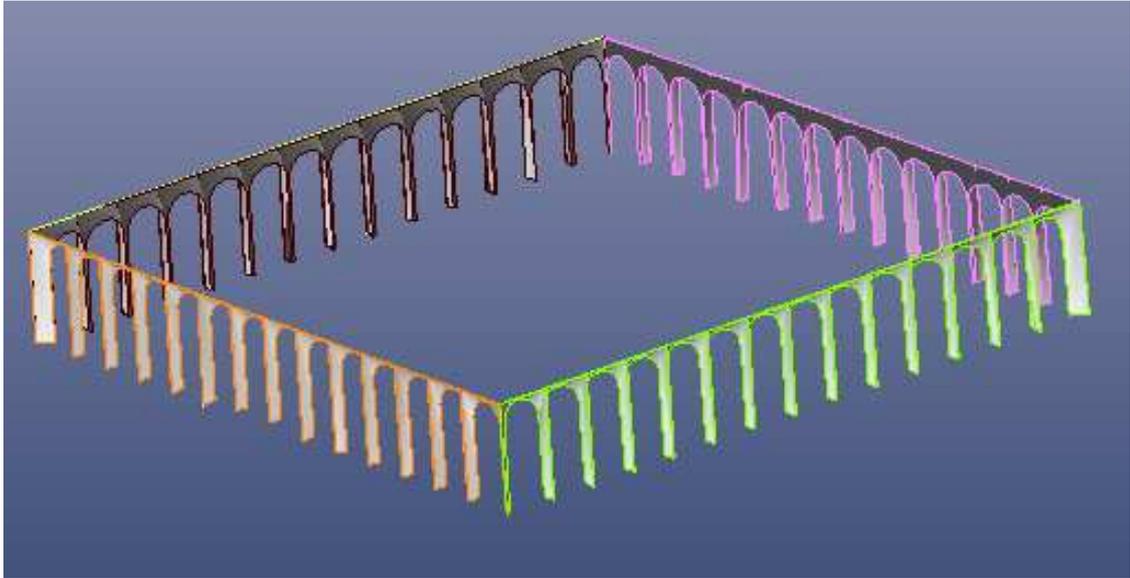


Figura 4. 24- Modelo com texturas

As ortofotos obtidas se apresentam nas Figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28 da fachada principal, posterior, direita e esquerda respectivamente.



Figura 4. 25- Ortofoto fachada principal

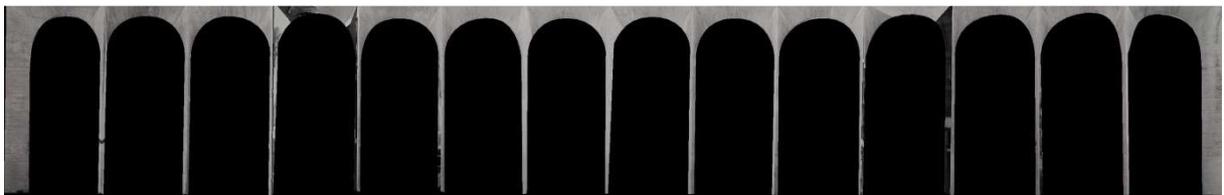


Figura 4. 26- Ortofoto fachada posterior



Figura 4. 27- Ortofoto fachada direita



Figura 4. 28- Ortofoto fachada esquerda

Posteriormente começou-se com a modelagem da cobertura que foi produzida com as fotos tiradas desde a parte superior do ANEXO I do Palácio Itamaraty (ver Figura 4.16), mas as fotografias não proporcionavam boa qualidade quanto à visualização dos outros elementos de interesse, impedindo sua representação. Desta maneira a modelagem ficou limitada à restituição dos contornos da cobertura facilmente identificáveis (linhas laranja na cobertura. Figura 4.29).

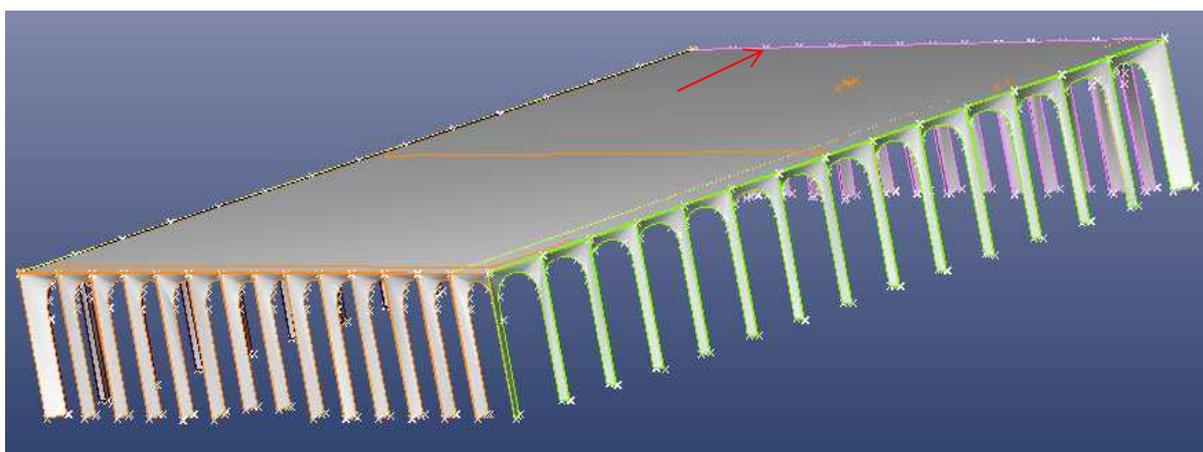


Figura 4. 29- Modelo com texturas (fachadas e cobertura)

Em seguida, foi aplicada a textura com a ferramenta *Path* no sentido horário delimitando os contornos laranja presentes na cobertura. Ao não conseguir modelar maior número de elementos fez-se uso do comando *Mark Surface Points – Line Mode* que permite projetar uma superfície existente. Ou seja, depois da linha laranja no sentido que assinala a seta a textura é projetada por meio de pontos e linhas que não requerem referências porque adquirem a posição 3D da superfície sobre a qual estão marcadas. Desta forma foi produzida a imagem da Figura 4.30.

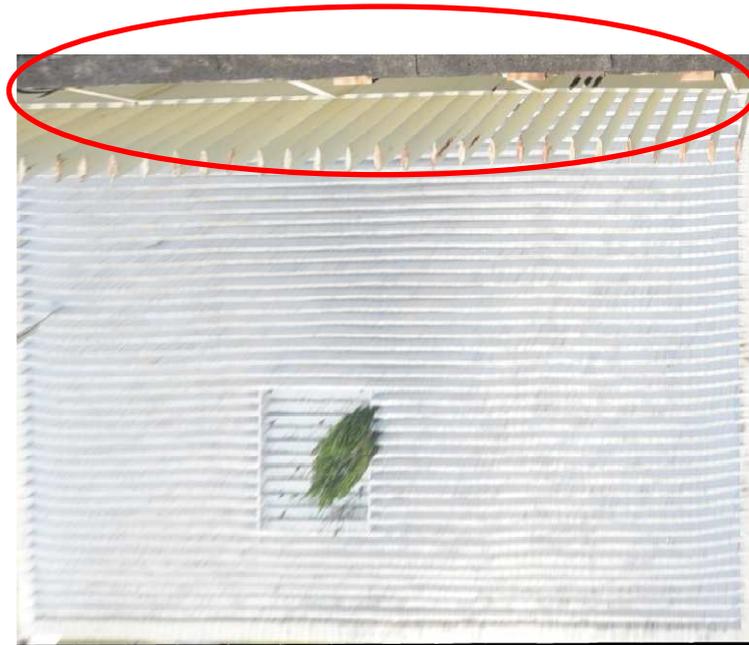


Figura 4. 30– Imagem obtida da cobertura

O círculo vermelho mostra parte do ANEXO 1 (prédio a partir do qual foram tiradas as fotografias), impedindo obter-se uma ortofoto que registre com bom detalhamento as características da cobertura, especialmente na parte posterior onde não se tem registro. Isso se deveu ao fato que nenhuma das fotografias pode ser obtida sem que registrasse o obstáculo, pois as texturas da cobertura sempre apresentaram este inconveniente.

Com a finalidade de solucionar este problema foi realizado o levantamento aéreo com um VANT - Avião (especificações no item 3.1) que sobrevoou o Palácio realizando voos em modo manual a uma altura de 120 m realizando-se passagens de modo a enquadrar toda a edificação em diversas fotografias. No caso do VANT – Hexacóptero os vôos foram executados a 70 m de altura, varrendo a cobertura por meio de passagens paralelas aos lados da edificação.

Estes veículos provêm de avanços tecnológicos recentes nas áreas de conhecimento relacionados aos acumuladores de energia, à aquisição e transmissão de imagem, aos motores elétricos tipo “*brushless*” e ao sistema de posicionamento global (GPS) viabilizaram o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos para utilização em veículos aéreos não tripulados (VANT). Uma das características destes equipamentos é a grande miniaturização que se consegue do conjunto como um todo, em função das dimensões reduzidas dos sistemas

de propulsão, alimentação e navegação. A partir destes sistemas em miniatura tornou-se possível conceber micro veículos aéreos não tripulados (uVANT). Dentre as vantagens se utilizarem VANT's para o levantamento de coberturas, destacam-se:

- Baixo custo de aquisição e manutenção;
- Motorização elétrica, que permite recarga das baterias em automóveis, possibilitando a realização de diversos voos em um único dia;
- Pequenas dimensões dos equipamentos que, além de permitir o transporte em carros de passeio e camionetes, facilitam o pouso em terrenos adversos e áreas bastante reduzidas, dispensando pistas de pouso;
- Possibilidade de aquisição de vídeos em tempo real e de fotografias aéreas de alta resolução; e
- Peso muito reduzido (em torno de 2,5kg), minimizando danos e custos por acidentes (SILVA; BICHO, 2011).

A pesar de realizar-se o levantamento aéreo com os dois equipamentos é de salientar que foi escolhido o levantamento realizado com o avião já que permitia maiores alturas de voo permitindo o registro total da cobertura.

Foi tirado bom número de fotografias das quais foram escolhidas aquelas que apresentaram melhor as características da cobertura para facilitar a identificação dos elementos de interesse simples (Figura 4.31). Para tal fim utilizou-se a câmara Sony Nex – C3 permitindo obter fotografias de muito boa qualidade, além de que, por ser pequena e leve, presta-se melhor para o manuseio requerido no avião.





Figura 4. 31 - Fotografias utilizadas para a restituição da cobertura

As fotografias foram inseridas no *PhotoModeler* e realizou-se a marcação dos pontos em cada imagem até modelar cada uma das vigas que compõem a cobertura.

Cabe salientar que a modelagem da cobertura foi feita em um projeto individual, porque o software não permite misturar dois tipos de câmaras pelo que foi impossível utilizar o projeto feito com câmara Nikon D 700.

No entanto, se consegue um produto de boa precisão conforme se verá na análise de resultados. Na Figura 4.32 pode-se observar o modelo em estrutura de arame.

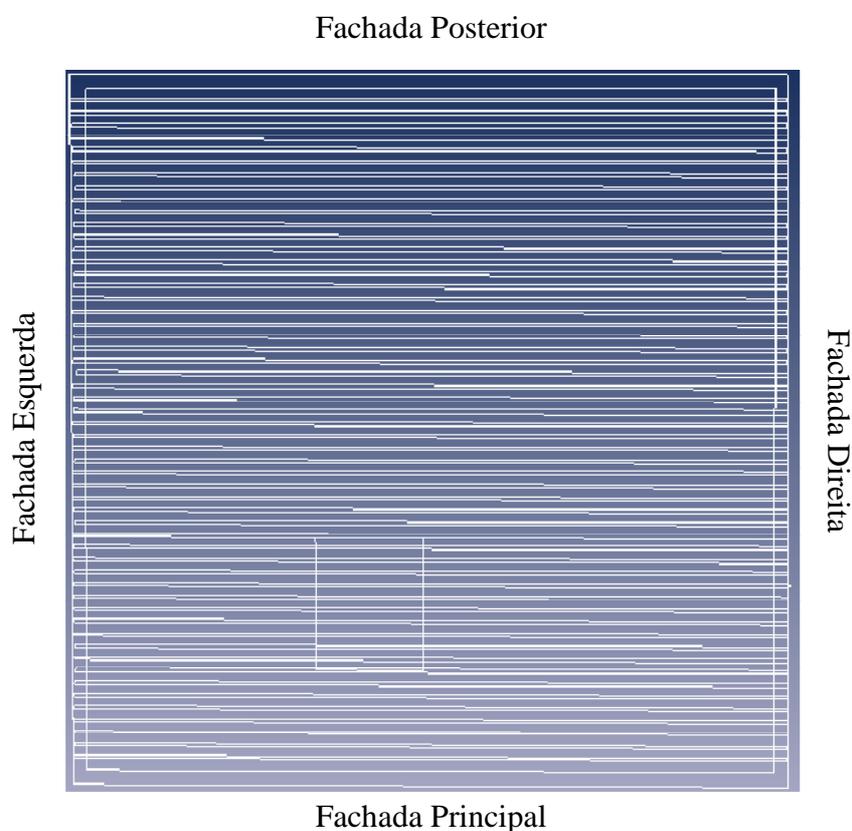


Figura 4. 32 - Cobertura em estrutura de arame

Note-se que o produto obtido permite observar cada uma das vigas que compõem a cobertura permitindo estudar a cobertura em sua totalidade.

Posteriormente foi aplicada a textura para obter a ortofoto representada na Figura 4.33.

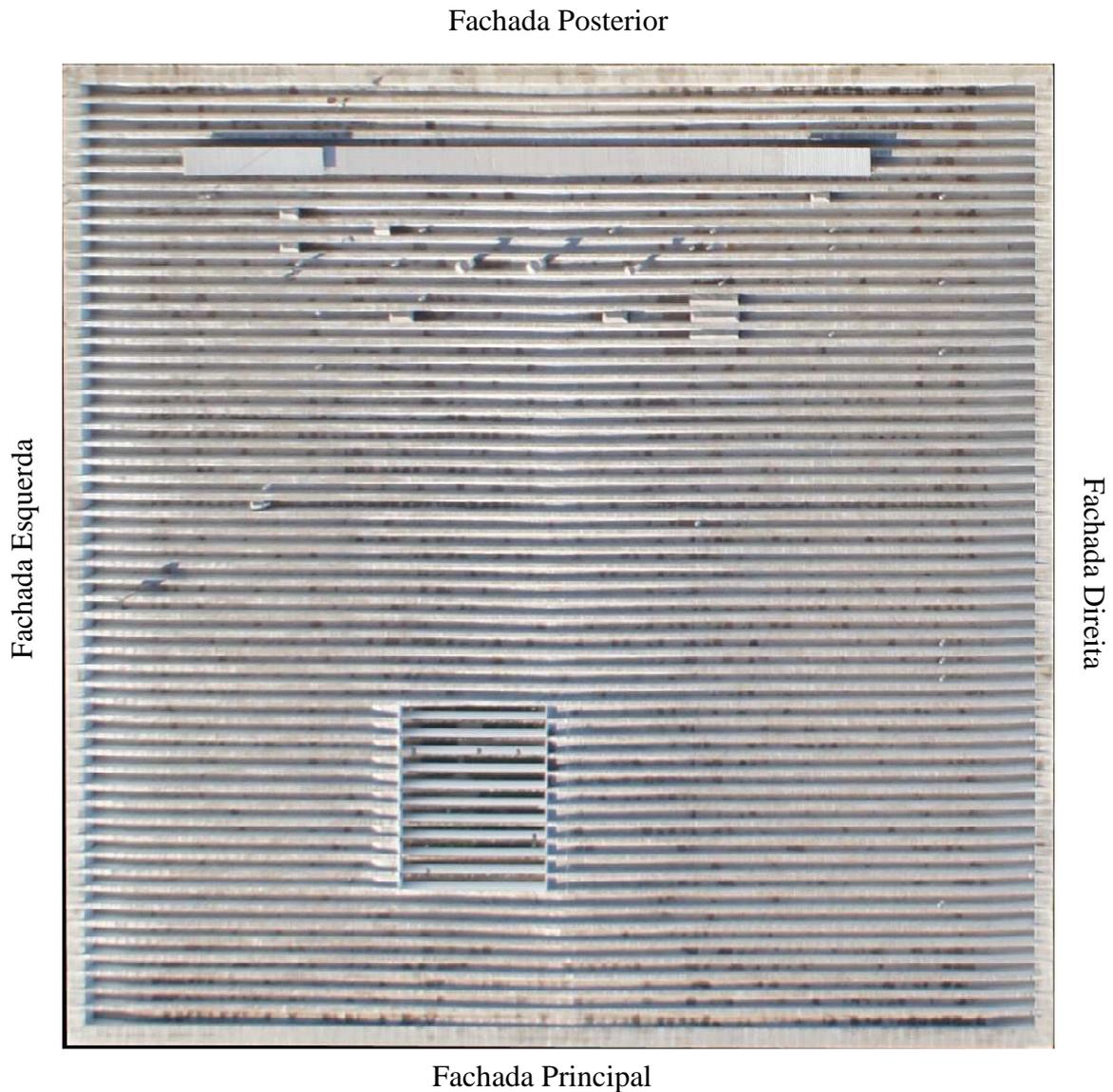


Figura 4. 33 - Ortofoto da cobertura

O erro total do levantamento terrestre foi de 2,416 pixels que se ajusta às condições impostas para trabalhos de fotogrametria digital de estruturas que requerem de grande detalhamento, segundo o item 2.3.4.2, onde se especifica que, para a maioria dos projetos de fotogrametria digital que envolve levantamentos de estruturas, o erro aceitável pode ser de 2 até 4 pixels.

Para o levantamento aéreo o erro total foi de 0,82 pixels, devido a que se conseguiu registar a cobertura em sua totalidade permitindo que a marcação dos pontos fosse simples.

4.7 - VETORIZAÇÃO NO AUTOCAD

No que diz respeito à vetorização, os sistemas estão ligados normalmente a *softwares* CAD, possuindo uma série de funcionalidades que permitem a geração de desenhos ou de modelos 2D, como alçados das fachadas, detalhes dos arcos, plantas da cobertura, etc. com variadas perspectivas, de um modo prático e interativo.

As ortofotos são inseridas no programa AutoCAD como imagens *raster* por contar com ferramentas de desenho mais completas que o *PhotoModeler* para o traçado de detalhes assim como facilitar a reprodução de elementos idênticos sem necessidade de desenhar eles individualmente.

A Figura 4.34 apresenta o alçado da fachada principal a partir da produção de uma ortofoto de apenas dois pilares, assim como a Figura 4.35 que mostra o desenho da fachada com a ortofoto completa. Estes dois exemplos que salientam a rapidez com que a modelagem da estrutura pode ser obtida.

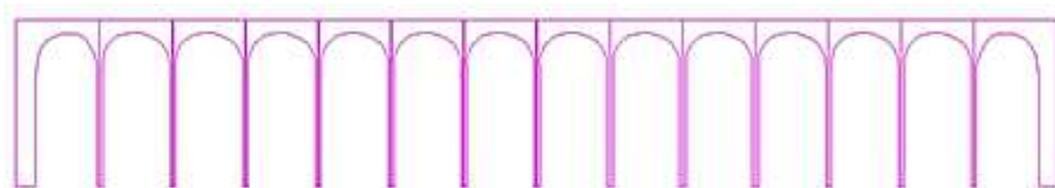
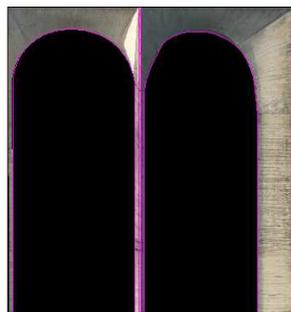


Figura 4. 34- Alçado da fachada principal pela reprodução dos pilares.

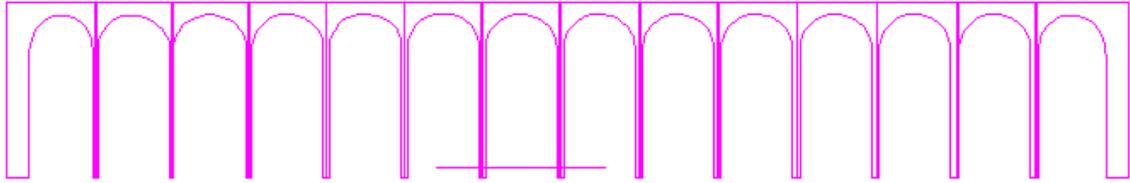


Figura 4. 35- Fachada principal com a ortofoto completa

Todos os desenhos são apresentados nas figuras 4.36, 4.37, 4.38 e 4.39.

FACHADA PRINCIPAL

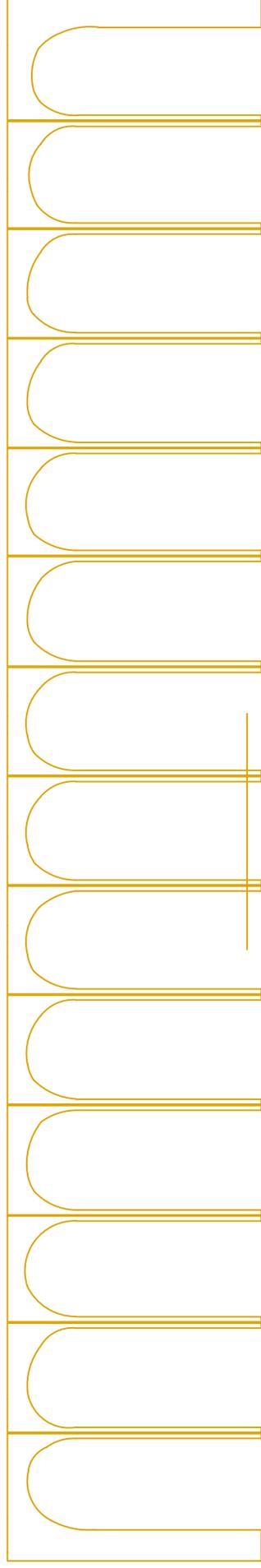


Figura 4. 36- Fachada principal obtido da vetorização no AutoCAD

FACHADA DIREITA

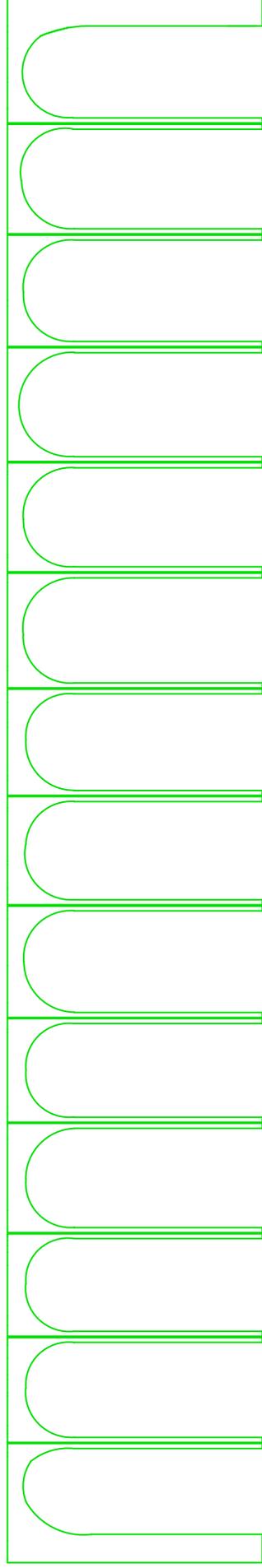


Figura 4. 37- Fachada direita obtido da vetorização no AutoCAD

FACHADA POSTERIOR

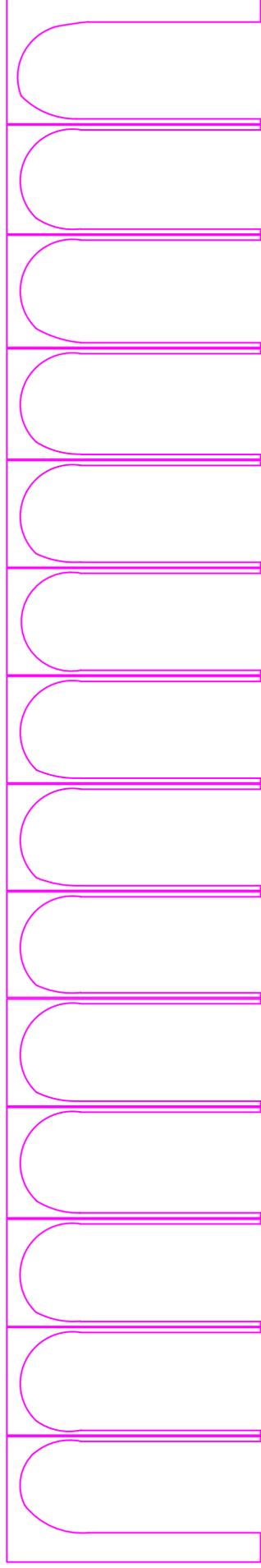


Figura 4. 38- Fachada posterior obtido da vetorização no AutoCAD

FACHADA ESQUERDA

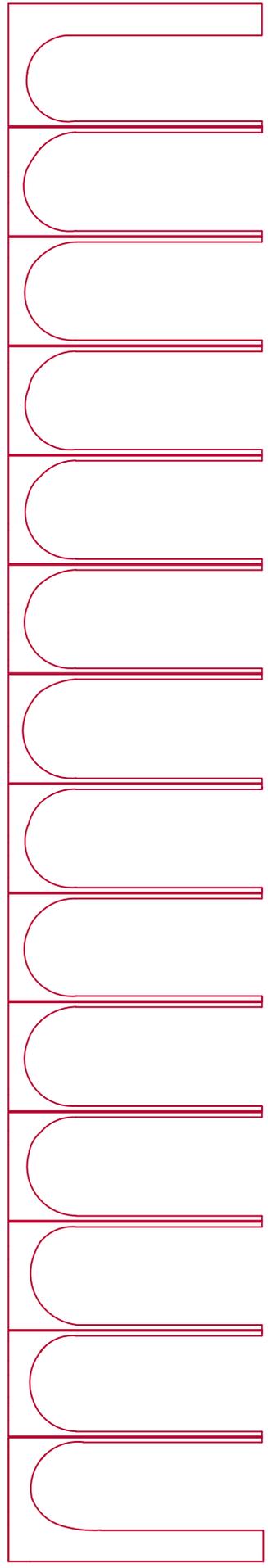


Figura 4. 39- Fachada esquerda obtido da vetorização no AutoCAD

E__1:250

O procedimento de vetorização é realizado também para a ortofoto obtida a partir do levantamento aéreo. O produto é apresentado na figura 4.39.

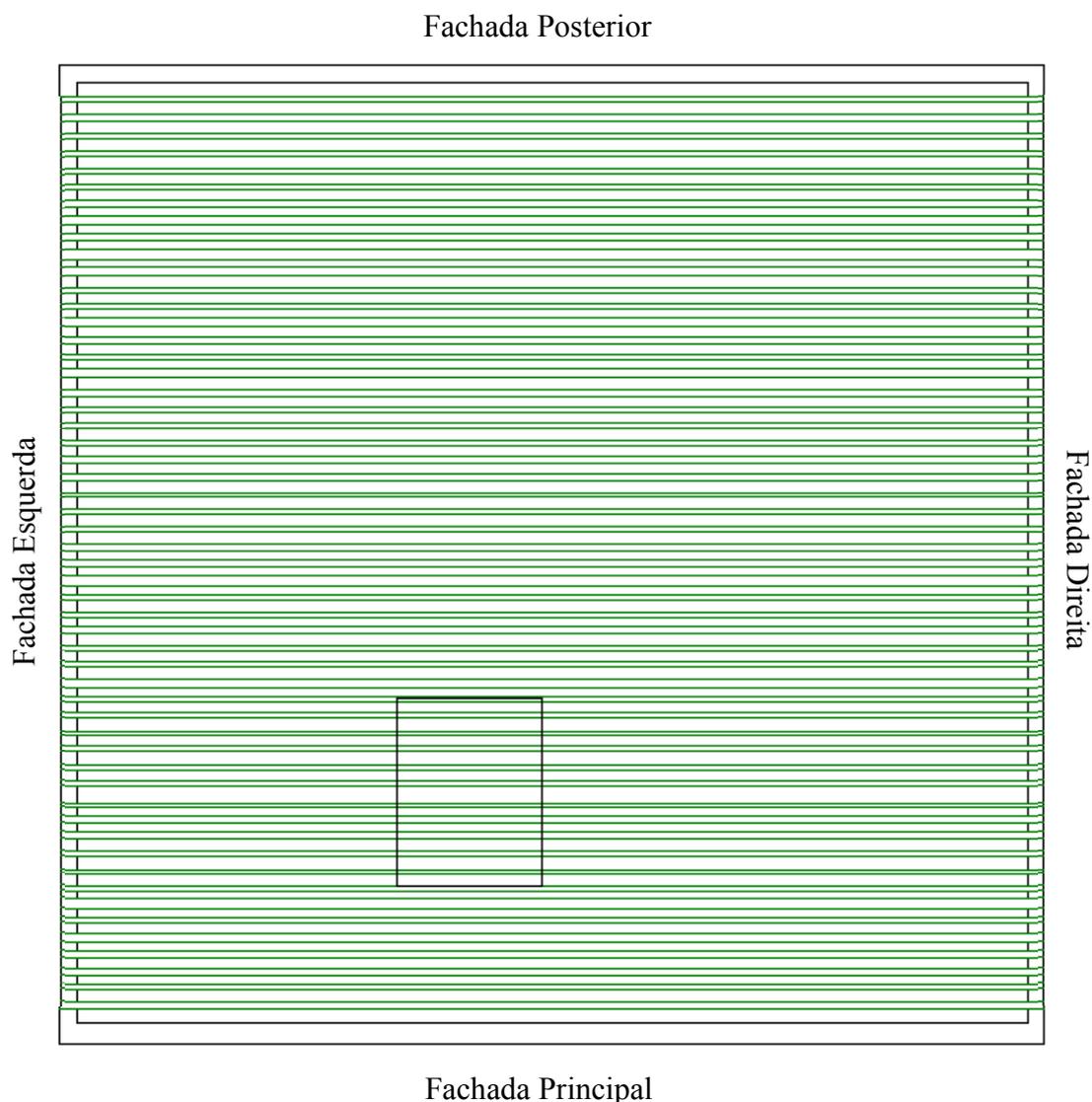


Figura 4. 40 - Desenho cobertura produto da vetorização no AutoCAD, a partir do levantamento aéreo com a câmara Sony Nex – C3

Todos os desenhos foram utilizados como base para a produção dos mapas de danos. Cabe salientar que estes produtos neste caso representaram os danos percebidos visualmente, pois não foi realizado nenhum tipo de ensaio para determinar outras patologias não visíveis.

Verificou-se a presença de danos que foram identificados assim:

Eflorescência - trata-se da cristalização na superfície de um material de sais solúveis contidos no mesmo. A eflorescência de sais acontece fora dos poros do material. Por essa

razão, o grau de deterioração é menor já que não afeta a integridade estrutural do produto só a parte estética pela presença de manchas brancas.

As condições necessárias para que ocorra este fenômeno é a coexistência de água e sais solúveis em água e condições ambientais que proporcionem a percolação e evaporação da água.

Manchas (Fungos) – Aparecem na superfície do material em forma de manchas de cor cinza, marrom ou preto. É um indicador de áreas com alta exposição à umidade.

As patologias, já identificadas são representadas nos mapas de danos por meio de cores para facilitar a visualização. Estes são feitos para cada fachada tal como é apresentado nas figuras da 4.41, 4.42, 4.43 e 4.44. Desta maneira esta representação permite fornecer informações que suportem futuras intervenções de conservação e restauração.

Na figura 4.45 é apresentado o mapa de danos da cobertura.

FACHADA PRINCIPAL

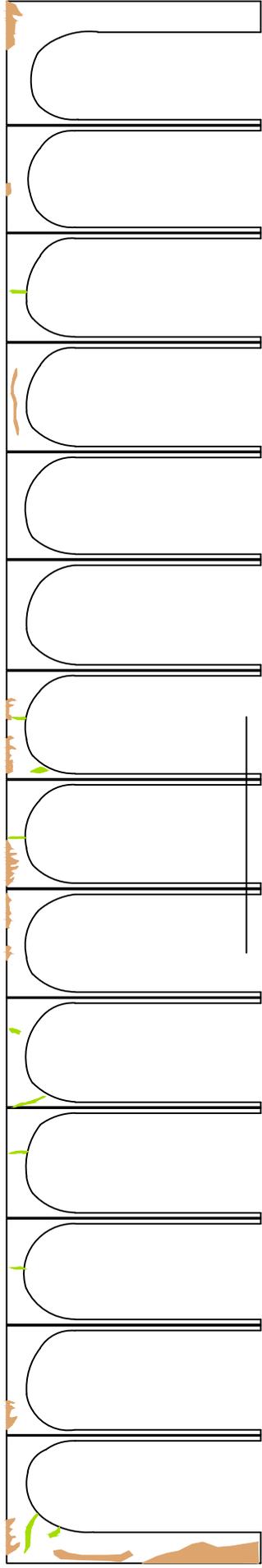


Figura 4. 41 - Mapa de danos fachada principal

FACHADA DIREITA

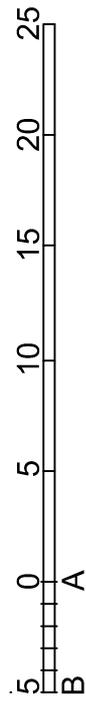
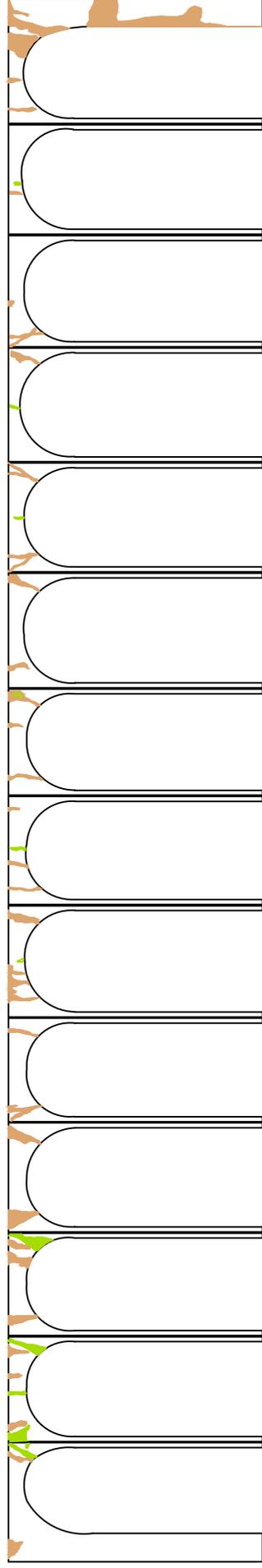


Figura 4. 42 - Mapa de danos fachada direita

E__1:250

FACHADA POSTERIOR

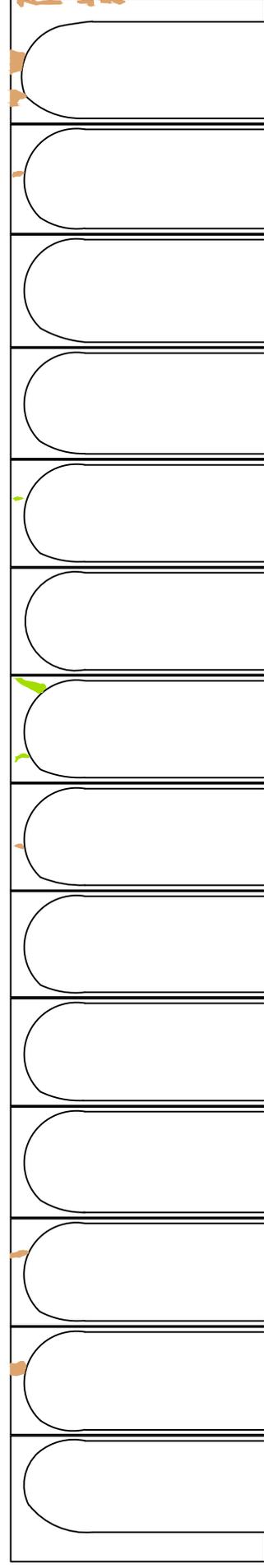


Figura 4. 43 - Mapa de danos fachada posterior

FACHADA ESQUERDA

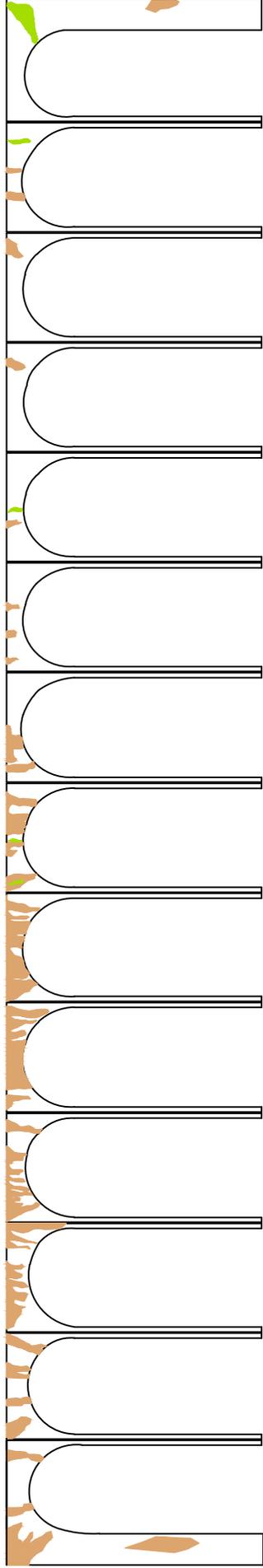


Figura 4. 44 - Mapa de danos fachada esquerda

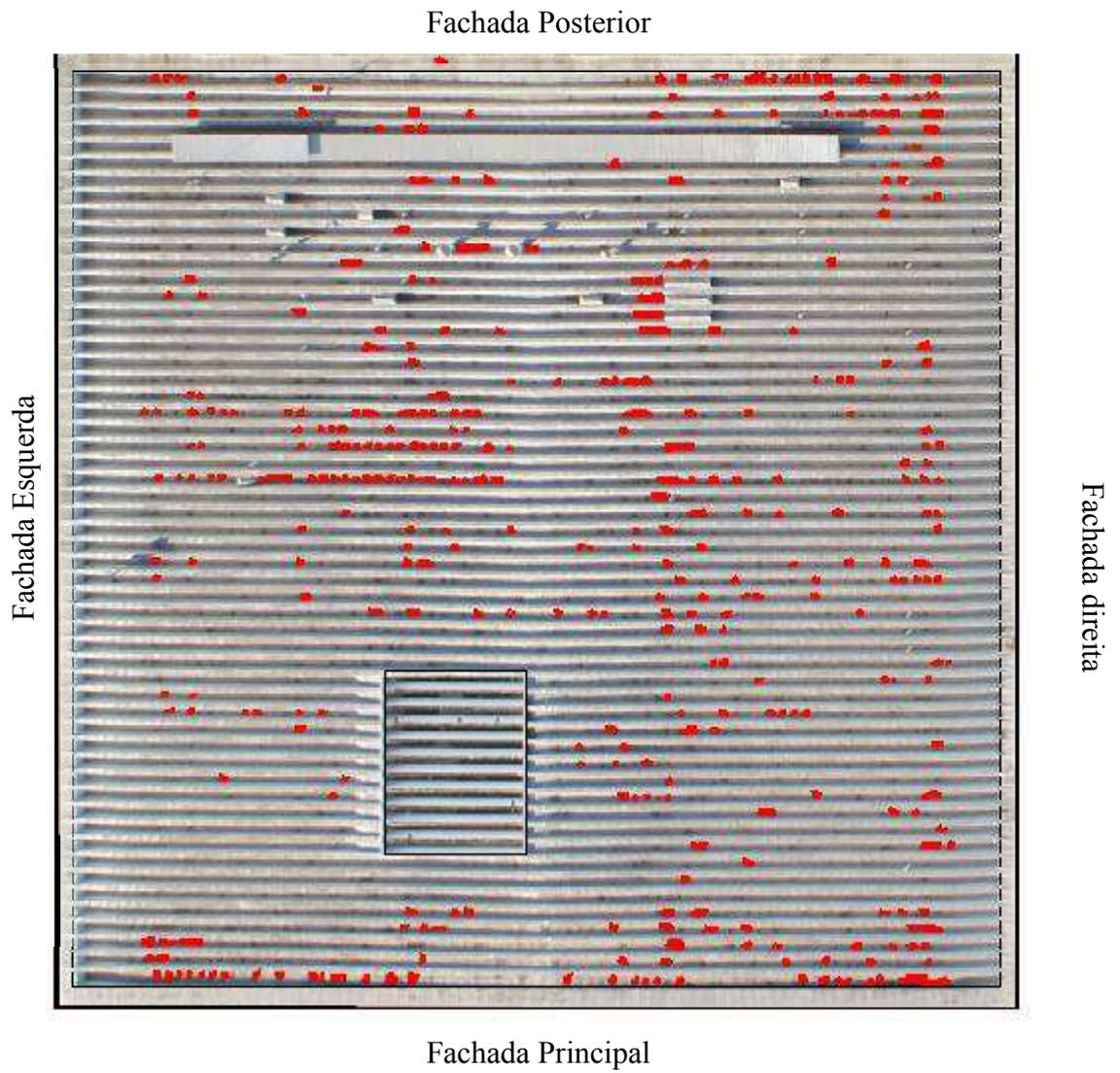


Figura 4. 45 - Mapa de danos cobertura.

4.8 - ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise de resultados foi dividida em diferentes seções. A primeira apresenta os principais erros encontrados no processo e as posições tomadas para sua correção.

A segunda faz a comparação dos desenhos produzidos no software *PhotoModeler* com relação as plantas fornecidas pelo Setor de Arquitetura e Engenharia do Ministério das Relações Exteriores provenientes de um levantamento topográfico executado anteriormente. Este recurso permitiu avaliar a precisão da técnica por meio da comparação de medidas como comprimentos, espessuras, alturas e raios de cada um dos elementos que compõem a estrutura. Também foi realizada a correspondência de medidas entre o desenho da cobertura obtido pelo levantamento aéreo com o VANT utilizando a câmara Sony Nex – C3 e a câmara Panasonic GF2.

Posteriormente é determinada a influencia do tipo de câmara na qualidade dos resultados. Para isso foi executado um levantamento complementar com a câmara Panasonic Lumix GF2 descrito detalhadamente no **APÊNDICE A** onde se descreve o levantamento das fachadas assim como a restituição da cobertura. Desta maneira foi possível fazer a comparação com os resultados obtidos com a câmara Nikon D700 utilizada no enfoque central da pesquisa, bem como a confrontação dos levantamentos aéreos (câmara Panasonic GF2 e a câmara Sony Nex – C3). Assim são avaliadas características como distância focal, resolução da câmara, qualidade da calibração, facilidade de marcação de pontos em cada fotografia e ortofotos produzidas.

Finalmente são identificadas as áreas degradadas gerando o mapa de danos.

4.8.1 – Erros encontrados no Processo

Conforme a terminologia utilizada por Groetelaars (2004) são descritos cada um dos erros que podem acontecer no processo, tem-se:

- (a) Erros grosseiros – geralmente acontecem pela falta de atenção do operador, onde a localização dos pontos foi executada de forma errada ou um ponto foi marcado na posição de outro. Este inconveniente se apresentou com maior repetição na marcação dos pontos dos arcos, assim como o contorno dos pilares já que por serem todos similares a

identificação de suas características resultava um pouco complicada no sentido de se confundir frequentemente.

Para reduzir estes inconvenientes foi necessário identificar alvos naturais como manchas, cores, etc., que permitiram identificar melhor a zona que estava sendo marcada.

- (b) Erros devidos a fotografias tomadas com ângulos muito fechados (valores menores que 45°) – Foram obtidos ângulos da ordem de 15 graus fazendo que as posições dos pontos no espaço não fossem processadas o que levou a se obter baixa precisão no projeto especialmente nas pequenas dimensões como, por exemplo, na espessura dos pilares. Neste caso as fotografias foram tomadas desde distâncias menores entre estações garantindo maiores áreas de sobreposição assim como ângulos próximos aos 90°.
- (c) Erros decorrentes da não visualização de pontos em determinadas fotografias – Especialmente os pontos inferiores internos dos pilares, assim como os pontos de início e final dos arcos plenos, ocasionando que a localização destes seja aproximada fato que pode comprometer a qualidade do modelo geométrico gerado, incrementando valores de erros residuais assim como de *tightness*.

4.8.2 – Comparação plantas originais com resultados obtidos

É iniciada a comparação entre os dados das plantas originais com os resultados obtidos da modelagem com o *PhotoModeler* permitindo determinar quão próximas ou não estejam às medições entre si. Na Figura 4.46 é observado o esquema de medições que foram consideradas.

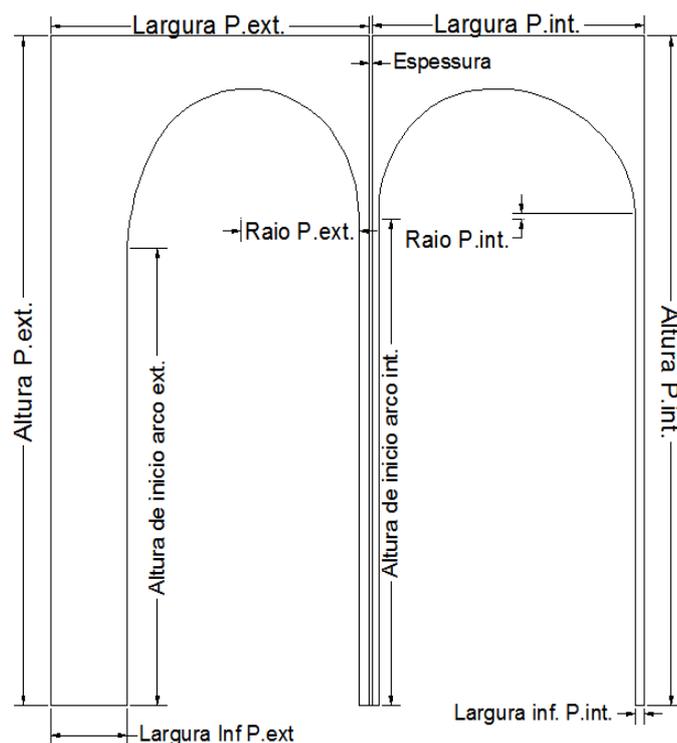


Figura 4. 46 - Medições consideradas para as fachadas

Para a cobertura as medições consideradas foram o perímetro e o comprimento das vigas, este último calculado fazendo a média de todas as medições das vigas efetuadas no *PhotoModeler*.

Os desenhos originais das fachadas só apresentam a elevação de uma delas já que todas são consideradas iguais. Neste desenho foram feitas todas as medições com ajuda do software AutoCAD, apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4. 4 - Medidas efetuadas no desenho original.

MEDIÇÕES	Raio arco (m)	Altura de início do arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilares (m)	Largura inferior pilares (m)
PILARES INTERNOS	2,815	9,52	13,86	0,04	5,96	1,50
PILARES EXTERNOS	2,5	9,91			6,94	2,30

Tabela 4. 5 - Medidas efetuadas da cobertura no desenho original

COMPRIMENTO VIGAS (m)	86
PERÍMETRO (m)	344

Procede-se realização das medições no modelo produzido pelo *PhotoModeler* sobre o qual foram medidos cada um dos componentes requeridos. Nas Tabelas 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 se apresentam os dados obtidos.

Tabela 4. 6 - Medidas efetuadas no desenho da fachada principal no *PhotoModeler*.

MEDIÇÕES	Raio arco (m)	Altura de inicio do arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilares (m)	Largura inferior pilares (m)
PILARES INTERNOS	2,796	9,98	13,839	0,068	5,935	1,550
PILARES EXTERNOS	2,529	8,97	13,856		6,949	2,280

Tabela 4. 7 - Medidas efetuadas no desenho da fachada direita no *PhotoModeler*.

MEDIÇÕES	Raio arco (m)	Altura de inicio do arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilares (m)	Largura inferior pilares (m)
PILARES INTERNOS	2,81	10,070	13,877	0,081	5,95	1,520
PILARES EXTERNOS	2,535	9,015	13,867		6,92	2,284

Tabela 4. 8 - Medidas efetuadas no desenho da fachada esquerda no *PhotoModeler*.

MEDIÇÕES	Raio arco (m)	Altura de inicio do arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilares (m)	Largura inferior pilares (m)
PILARES INTERNOS	2,806	9,992	13,812	0,08	5,956	1,470
PILARES EXTERNOS	2,513	9,095	13,838		6,90	2,285

Tabela 4. 9 - Medidas efetuadas no desenho da fachada posterior no *PhotoModeler*.

MEDIÇÕES	Raio arco (m)	Altura de inicio do arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilares (m)	Largura inferior pilares (m)
PILARES INTERNOS	2,81	10,12	13,950	0,10	5,993	1,531
PILARES EXTERNOS	2,5	9,106	13,977		7,045	2,262

Nas Tabelas pode-se observar a variabilidade dos dados salientando as medições efetuadas para a altura dos pilares devido a obstáculos ou as mesmas posições nas que foram tiradas as fotografias que não permitiam o registro dos pilares em sua totalidade evitando muitas vezes realizar uma marcação exata dos pontos tendo-se que recorrer a aproximações.

Tendo estes dados foi feita a média das dimensões de cada elemento obtidas com o *PhotoModeler*, para obter um valor representativo de cada elemento e assim realizar a comparação com as dimensões dos projetos originais fornecidos.

A seguir na Tabela 4.13 são apresentadas as diferenças percentuais calculadas entre as medidas das plantas originais com os desenhos produzidos.

Tabela 4. 10 - Diferenças percentuais calculadas entre os desenhos originais e o modelo produzido no *PhotoModeler*.

DIFERENÇAS (%)	Raio arco (%)	Altura de inicio do arco (%)	Altura pilar (%)	Espessura pilar (%)	Largura Superior pilares (%)	Largura inferior pilares (%)
PILARES INTERNOS	-0,337	5,467	0,069	106,667	0,004	-0,021
PILARES EXTERNOS	0,770	-8,713	0,177		0,001	-0,001

Tabela 4. 11 - Diferenças em percentagem calculadas entre o desenho original da cobertura e o modelo produzido no *PhotoModeler* com a câmara Sony Nex – C3

COMPRIMENTO VIGAS (%)	0,151
PERÍMETRO (%)	0,058

Tabela 4. 12 - Diferenças em percentagem calculadas entre o desenho original da cobertura e o modelo produzido no *PhotoModeler* com a câmara Panasonic GF2

COMPRIMENTO VIGAS (%)	0,209
PERÍMETRO (%)	0,105

Na avaliação dos resultados para as fachadas observou-se que a maior diferença foi apresentada para as espessuras dos pilares assim como para as alturas de arranque dos arcos externos e internos isso por serem os elementos mais difíceis de controlar, pois em certas ocasiões as fotografias não proporcionavam boa visibilidade tendo-se que recorrer a marcações por aproximação.

No entanto, com intuito verificar estes valores foram realizadas medições em campo desde a parte da passarela da fachada principal que tem fácil acesso aos elementos mencionados como é observado na Figura 4.47. Desta forma as medições efetuadas foram para o diâmetro dos arcos de 5,60 metros, espessura do pilar de 0,07 metros e altura de início do arco interno de 10 metros. Isto mostra que os dados fornecidos pelo *PhotoModeler* se ajustam melhor ao estado atual que se encontra a estrutura, indicando que as plantas originais não estão conferindo com as dimensão real destes componentes. A nova diferença foi da ordem de 1,2 centímetros que correspondem a 18,95% para as espessuras de pilares e com melhores resultados para as alturas de arranque e os raios internos onde se conseguiu 0 % de erro.



Figura 4. 47 - Medições efetuadas em campo.

Além disso, cabe salientar a utilização do VANT's para complementação do trabalho foi fundamental podendo-se obter um produto que se ajusta perfeitamente aos requerimentos de precisão e qualidade quando é comparado com os produtos originais. Desta maneira esta ferramenta se converte em um apoio vital de apoio aos trabalhos de levantamentos especialmente para elementos como coberturas que para sua representação fica limitada devido a condições de acessibilidade mesmo com técnicas tradicionais.

4.8.3 Comparação entre a câmara Nikon D 700 e a câmara Panasonic GF2 (Levantamento terrestre).

Foi realizada uma comparação entre o levantamento efetuado pela câmara Nikon D 700 com o levantamento feito com a câmara Panasonic Lumix GF2 (detalhado no **APÊNDICE A**), tendo em conta principalmente parâmetros como a distância focal, campo de visão, qualidade de resultados, etc.

A influência marcante da distância focal pode ser observada na fachada posterior que pelo fato da pequena distância entre a câmara–objeto. A aquisição e processamento de imagens ficam limitados ao número de pontos que uma imagem consiga registrar já que a técnica está restrita a pontos facilmente identificáveis, pelo que se devem procurar posições da câmara que garantem boa área de sobreposição assim como uma separação angular próxima aos 90°.



(a)



(b)

Figura 4. 48 - Fotografias utilizadas para a restituição da fachada posterior. (a) Fotos tiradas com a câmara Nikon D700. (b) Fotos tiradas com a câmara Panasonic GF2.

Na Figura 4.48 (a) é apresentada uma fotografia tirada com a câmara Nikon na qual se observou que o campo de visão é muito mais amplo podendo-se utilizar para o registro de cinco pilares uma só fotografia, caso contrário às fotografias tiradas com a câmara GF2 exibidas na Figura 4.48 (b) na que, para o registro dos mesmos pilares, necessitam-se um total de três fotos.

Avaliou-se fachada por fachada tendo em conta os mesmos componentes estudados anteriormente. A Tabela 4.16 apresenta as diferenças encontradas:

Tabela 4. 13 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada principal.

DIFERENCIAS	Raio arco (%)	Altura de inicio do arco (%)	Altura pilar (%)	Espessura pilar (%)	Largura Superior pilares (%)	Largura inferior pilares (%)
PILARES INTERNOS	0,322	0,601	-0,369	7,353	-0,084	-4,258
PILARES EXTERNOS	-0,751	0,892	-0,512		-0,317	0,175

Tabela 4. 14 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada direita

DIFERENCIAS	Raio arco (%)	Altura de inicio do arco (%)	Altura pilar (%)	Espessura pilar (%)	Largura Superior pilares (%)	Largura inferior pilares (%)
PILARES INTERNOS	1,068	-0,070	-0,598	-13,580	1,328	0,658
PILARES EXTERNOS	-0,986	-0,089	-0,512		1,777	-1,051

Tabela 4. 15 - Diferenças entre os desenhos da câmara Nikon D700 e a câmara Panasonic GF2. Fachada esquerda.

DIFERENCIAS	Raio arco (%)	Altura de inicio do arco (%)	Altura pilar (%)	Espessura pilar (%)	Largura Superior pilares (%)	Largura inferior pilares (%)
PILARES INTERNOS	0,143	0,410	-0,072	-6,250	-0,487	4,082
PILARES EXTERNOS	-0,517	-0,825	-0,152		-0,043	1,094

Devido aos grandes erros apresentados na fachada posterior para a modelagem com a câmara Panasonic GF2 esta não foi levada em conta para a análise das diferenças numéricas. Estes erros foram provocados pela elevada distância focal (40 mm), com conseqüente redução do campo de visão.

Segundo os resultados pode-se observar que os dados foram similares sem apresentar diferenças significativas que deixem evidenciar as vantagens de uma câmara com relação à outra. No entanto, cabe salientar que a câmara Nikon D 700 por utilizar uma lente 20 mm com sensor full frame que tem um maior campo de visão, permite abarcar maior quantidade de detalhes assim como permitir menores distâncias câmara – objeto. Isto permite melhor qualidade das ortofotos produzidas beneficiando a vetorização no AutoCAD para a geração dos mapas de danos.

4.8.4 - Comparação entre a câmara Panasonic GF2 e a câmara Sony Nex C3 (Levantamento aéreo).

Na comparação da modelagem da cobertura feita com a câmara Panasonic GF2 e Sony Nex – C3 foram distinguidas duas diferenças. A primeira foi o fato que para a restituição com a câmara Sony, devido a ter uma distância focal de 16 mm, proporciona maiores áreas de sobreposição assim como menor número de fotografias. Foi utilizado um total de três fotos para a modelagem total, enquanto que para a modelagem com a câmara GF2 foram necessárias seis fotografias. Isto se deve a que a distância focal é maior o qual diminui o campo de visão precisando-se de um maior número de fotografias.

A segunda foi a que a câmara Sony por ser mais leve e pequena permitia manobrar o VANT e conseguir maiores alturas registrando a cobertura em sua totalidade, facilitando o mapeamento de texturas de melhor qualidade.

As diferenças apresentadas entre cada modelagem com o projeto original não apresentam diferenças significativas, mas pelos dois fatos anteriormente mencionados recomenda-se a utilização da câmara Sony para efetuar este tipo de levantamentos.

4.8.5 – Avaliação do Estado Atual de Conservação

Na avaliação do estado de conservação observou-se que o prédio em geral se encontra em bom estado de conservação. As manchas e as eflorescências não prejudicam estruturalmente o prédio, mas deve-se realizar uma limpeza imediata dos arcos e pilares com a finalidade de proporcionar melhor aparência.

A fachada esquerda é aquela que apresenta maior concentração de manchas escuras devido às infiltrações de água decorrentes da calha localizada na cobertura.

A cobertura apresenta uma boa quantidade de manchas marrom, mas que não afetam a estrutura.

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

A utilização da fotogrametria digital possibilitou o levantamento das fachadas do Palácio Itamaraty contribuindo a apresentar esta tecnologia como inovadora, prática, acessível e fácil para dar suporte aos levantamentos envolvidos nos projetos de restauração. Esta técnica é importante, especialmente para a resolução de problemas de mensuração em locais de difícil alcance e para agilizar o processo de diagnóstico, levantamento de dados e medidas para documentação de elementos arquitetônicos de uma edificação histórica, além de se comprovar sua eficiência especialmente na precisão dos resultados já que, ao ser comparado com os projetos originais, não se conseguem diferenças significativas.

No entanto, avaliou-se que a principal limitação da fotogrametria é que só permite levantar elementos que sejam visíveis nas fotografias. Constatou-se que, no caso de haver obstáculos, ou seja, elementos que obstruam parte do objeto ou distâncias insuficientes para a obtenção das imagens, se faz necessário marcar os pontos por aproximações com a diminuição significativa de sua precisão, o que implica que o método fotogramétrico serve principalmente como uma importante ferramenta de auxílio na documentação do patrimônio. Por isto, se deve seguir procurando alternativas que permitam solucionar estes inconvenientes.

Cabe salientar que a qualidade dos resultados está intimamente ligada às características da câmara e da sua calibração, qualidade da imagem (resolução, nitidez, iluminação, obstáculos, etc.), posicionamentos na tomada fotográfica, e acuidade com que os elementos foram reconstituídos.

A câmara métrica Nikon D700 foi eficaz devido a sua lente de 20 mm e ao sensor “full frame” facilitando o levantamento nos locais em a câmara Panasonic Lumix GF2 com lente 20 mm, mas com fator de corte de 1,6 não permitiu um bom levantamento. No entanto, ela também teve que ser calibrada para a utilização com o *PhotoModeler* e a precisão de resultados onde foi possível fazer o levantamento com as duas câmaras não divergiu muito.

Os produtos fornecidos como elevações das fachadas permitiu realizar uma atualização das plantas do projeto em relação ao executado e a utilização das ortofotos para o levantamento e descrição do diagnóstico de danos, forneceu em escala real a localização e visualização dos danos da edificação e determinar as zonas mais problemáticas fornecendo informação para futuras intervenções. Também foi possível obter grande quantidade de registros gráficos e fotográficos servindo como um documento comprobatório da realidade da edificação, suas dimensões e o seu real estado de conservação.

Foi possível comprovar as vantagens do software *PhotoModeler*, como uma ferramenta em potencial por seu custo relativamente baixo, rapidez e armazenamento de grande volume de dados, facilitando a produção de informação métrica acurada o que permite propor sua implementação futura nos trabalhos de restauração.

Uma visão geral sobre o potencial da fotogrametria à curta distância, além das constatações já mencionadas no estudo desta pesquisa, permite ainda concluir que ela oferece como principal vantagem, uma documentação visual e incontestável a respeito do bem a ser avaliado, possibilitando análises temporais, seja de conservação, seja da qualidade construtiva, além da apresentação da obra, de modo fiel a época que o monumento representa.

Como conclusão também deve-se ressaltar também a importância de utilizar ferramentas complementares como o VANT's (Veículos aéreos não tripulados) que permitiu documentar perfeitamente lugares dificilmente acessíveis como coberturas donde geralmente deve-se de utilizar equipamentos como, por exemplo, os guindastes que podem tornar o levantamento custoso.

Desta maneira pode ser evidenciada a versatilidade de levantamentos fotogramétricos por meio de VANT's que permitem que imagens sejam obtidas com alto grau de sobreposição, o que possibilita realizar as marcações das características com maior facilidade, além de permitir a produção de ortofotos de alta qualidade.

E por último, pode-se concluir em um aspecto geral, que a técnica atualmente está ao alcance de todos já que os equipamentos utilizados são de baixo custo e de uso geral aliada a ferramentas mais simples e fáceis de utilizar como software de restituição digital que amplia significativamente suas áreas de aplicação. Portanto, espera-se assim, que o preconceito do

alto custo e a barreira ainda existente na sua utilização sejam rompidas, e a prática e os avanços dessa técnica sejam efetivamente ampliadas e divulgadas no Brasil.

5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se continuar com a utilização da fotogrametria digital para levantamentos dos monumentos de Brasília como a Catedral Metropolitana, o Palácio da Justiça, o Palácio da Alvorada, etc. construções caracterizadas por sua admirável arquitetura. Desta maneira a aplicação da técnica permitira obter a representação tridimensional que acrescente o acervo documental destas estruturas.

A ideia poderia ser desenvolvida com a utilização de mais tipos de câmaras que permitam evidenciar as vantagens marcantes entre cada uma, avaliando variáveis como o tempo investido em campo assim como no processamento de dados, além da qualidade de resultados.

Utilizar softwares de modelagem tridimensional, animação e renderização que permitam à criação de texturas de alta qualidade e gerar o maior realismo possível, desta maneira a produção das ortofotos para conseguir maior detalhamento, como exemplo o *Studo 3D max*.

Confrontar os diferentes software de restituição digital e avaliar as vantagens e desvantagens de cada um.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14037 Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação**, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**, Rio de Janeiro, 2003.

ABLANEDO, E. S. **Control De La Deformación En Sólidos Mediante Técnicas De Fotogrametría De Objeto Cercano: Aplicación A Un Problema De Diseño Estructural** (Tese Doctorado. Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría). Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad de Vigo. 2009.

ALBERTZ, J. Albrecht Meydenbauer. Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage. Proceedings. In: 18th INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIPA 2001. September 18 - 21, 2001. Potsdam (Germany),

ALMAGRO, A. La Fotogrametría para Arquitectos. El Estado de la Cuestión. In: VIII CONGRESO DE EXPRESSION GRAFICA ARQUITECTONICA (EGA). 2000. Barcelona.

ALMAGRO, A. Sobre el uso métrico de Fotografías Digitales en los Levantamientos Arquitectónicos. In: X CONGRESO INTERNACIONAL DE EXPRESSION GRAFICA ARQUITETONICA (EGA). 2004. Granada, p. 351-359.

ALMEIDA, M. C. B. E. de; SANTANA, M. C. de. Levantamento gráfico das ruínas da casa da Torre de Garcia D'Ávila. In: Graphica 2000. Ouro Preto: IV International Congress on Engineering Graphics for Arts and Technical Drawing & 14º Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 2000

ALTROCK von . P. **Aplicações da Fotogrametría digital na documentação de edificações históricas – estudo das obras do Brigadeiro Joseph da Silva Paes, séc. XVIII**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistema). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ALVARES, P. **Fotogrametria Digital e Risco de Incêndio em Sítios Históricos: Possibilidades de Aplicação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de concentração: Construção Metálica). Universidade Federal de Ouro Preto Escola De Minas. Ouro Preto, 2009.

AMORIM, A.L. **Documentação do Patrimônio Arquitetônico do Estado da Bahia com Tecnologias Digitais**. Computação gráfica: pesquisas e projetos rumo à Educação Patrimonial. Seminário - São Paulo, 2008.

AMORIM, A.L; GROETELAARS, N.J; LINS, E de A. Um Centro de Documentação do Patrimônio Arquitetônico. In: Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Belo Horizonte, v.2, n.2, Maio – Agosto, 2008.

ANDRADE, J.B. **Fotogrametria, segunda edição**. Curitiba, SBEE, 2003.

ANDRADE, H.J.L. F de; SCHULER, C.A.B. **Reconstrução Tridimensional de Formas Arquitetônicas através da Fotogrametria Terrestre Digital**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. SBSR. INPE P. 2347. Curitiba, PR. 30 de Abril – 5 de Maio, 2011.

ANGOSTINI, S. **Architectural Photogrammetry: Software and Methods**. Ano não informado.

ANTONIAZI, A. **Simulação computacional de ambientes históricos: Procedimentos metodológicos para estudo de caso na Praça Dante Alighieri e no entorno imediato**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ASTORQUI, J. SC. **Metodología para la tomada de datos: La definición geométrica**. Notas de Aula. Programa de Maestría en Restauración y Rehabilitación de Edificios. Módulo “La Gestión de las Actuaciones Previas”. Universidad Politécnica de Madrid. Madri, 2005.

BRAGA, M. **Livro 03 Conservação e Restauro Arquitetura, Unidade 1: História e evolução conceitual dos critérios do restauro arquitetônico**. Retirado de Recomendações e

Diretrizes para a adoção de princípios comuns sobre a conservação e restauração do patrimônio cultural na Europa – Apel, 2001.

BRITO, J; COELHO, L. **Fotogrametria Digital. Primeira Edição.** Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2002.

CAMPELLO, C. B. C. **Mapa de Danos: Origem, função, conteúdo, método e modelos.** Monografia (Especialização em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade Damas. Recife, 2008.

CANTUÁRIA, E. de J. R. **Fotografia, Arquitetura e Restauro.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

CAVALCANTI, J. N; AMORIM, A. L. Simulação Digital: Modelos Digitais Fotorealísticos no Mapeamento e Quantificação de Patologias em Projetos de Restauração. In: Congresso Ibero-Americano de Gráfica Digital. SIGRADI. Santiago, Chile, 2006.

CIERRE, M. M. A. **Estúdio Fotogramétrico del Deposito de Agua de Canteras.** Proyecto Final (Carrera Arquitectura Técnica. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil), 2008.

COELHO, C. **Livro 03 Conservação e Restauro Arquitetura, Unidade 2: O projeto de intervenção em bens culturais imóveis.** Retirado de Recomendações e Diretrizes para a adoção de princípios comuns sobre a conservação e restauração do patrimônio cultural na Europa – Apel, 2001.

CORTÉS. M.; AMORIM. A. L. **Restituição Fotogramétrica Digital das Fachadas do Pelourinho, Salvador – Bahia, Brasil.** In: Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital, SIGRADI, Cidade de México, México, 2007.

COSTA, D. R. M da. **Aspectos críticos em obras de restauração arquitetônica no Estado: a experiência do arquiteto Edegar Bittencourt da Luz.** Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Profissionalizante). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

COSTA, L. G. G. **CRONIDAS: Elaboração da Base de Dados para Auxílio em Representação de Mapa de Danos.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

CSEPCSÉNYI A.C.; SALGADO M. S.; RIBEIRO R. T. M. **Análise do Processo de Projetos de Restauração sob a Ótica da Gestão da Qualidade.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído ENTAC, 2006.

ESCALANTE, M.P. **Estúdio Metodológico sobre Intervenciones de Restauración y Conservación del Patrimônio Arquitectonico.** Proyecto Final (Arquitectura técnica). Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

GONÇALVES, G.R. **Elementos de Fotogrametria Analítica.** Engenharia Geográfica Departamento de Matemática. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. 2006.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da Fotogrametria Digital na Documentação de Formas Arquitetônicas e Urbanas.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal de Bahia, Salvador, 2004.

GROETELAARS, N. J. **Introdução à Fotogrametria Arquitetônica Digital.** Notas de Aula. Programa de Documentação do Patrimônio do Estado de Bahia. LCAD. Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal de Bahia, Salvador, 2012.

GRUPO DE TRABALHO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARQUITETÔNICO. Patrimônio Histórico como e porque Preservar Terceira Edição. CREA – SP. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado de São Paulo, 2008.

HANKE, K.; GRUSSENMEYER, P. **Architectural Photogrammetry: Basic Theory, Procedures, Tools.** Architectural Photogrammetry. Chapter in Digital Photogrammetry. pp. 300-339. Confu, 2002.

ICOMOS - CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS Y SÍTIOS. Carta de Veneza. Carta Internacional de Monumentos e Sítios. II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, 1964.

ICOMOS - CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS Y SÍTIOS. Carta de Cracóvia. Princípios para a Conservação e Restauro do Património Construído. Conferencia Internacional sobre Conservação “Cracóvia, 2000”, 2000.

ICOMOS – CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS Y SÍTIOS
Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitetónico. Tradução para Português por: Paulo B. Lourenço e Daniel V. Oliveira. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. 2004.

JAUREGUI L. M.; JAUREGUI, M. **Terrestrial Photogrammetry Applied to Architectural Restoration and Archaeological Surveys**. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Amsterdam: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII (B5), 2000.

JIMENEZ, V.A.R. **Diseño de un Ambiente Virtual Mediante el Empleo de Procesos Fotogramétricos Terrestres de Corto Alcance, del Conjunto Arquitectónico Monasterio -Iglesia de La Merced” Ecuador**. Proyecto de Grado (Programa de Ingeniería). Escuela Politécnica del Ejército Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Ecuador, 2011.

KÜHL, B.M. **Notas sobre a Carta de Veneza**. Anais do Museu Paulista. São Paulo. N. Sér. V.18 n.2. p. 287 – 320. Julho – Dezembro – 2010.

LIMA, P. D. R. C. R. **Estratégias de modelação 3D a partir de Varrimento Laser 3D**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura. Universidade de Lisboa. Lisboa, 2011.

____ **Manual de Ajuda de Photomodeler**. PhotoModeler 2012.

MARTINS, J. M. **Implementação de um Sistema de Informação Predial utilizando Fotogrametria Digital a Curta Distância**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

MEDINA, S. da S. **Monorestituição de Fachadas Arquitetônicas**. Departamento de Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004

MENDEZ, R.B. **Construção de Ambientes Virtuais Interativos Baseados em Imagens para estudos Arquitetônicos e Urbanísticos**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação). Instituto de Informática. Programa de Pós- graduação em Computação. Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

MENGIBAR, M. J. B. **Modelización Tridimensional del Edificio "Casa Pascual I Pons" Mediante Técnicas Fotogramétricas**. Proyecto Final (Ingeniería Técnica Topográfica). Escola Politècnica Superior d' Edificació de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. 2010.

MOREIRA, A. L. A. **A Estrutura do Palácio da justiça em Brasília: Aspectos históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégias para Manutenção**. Dissertação (mestrado em Estruturas e Construção Civil).Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

NORONHA, S. **Jornal Correio da Bahia**. Monumento Documentado. Edição 17 de janeiro, 2001.

NIEMEYER, O. **“Forma e Função na Arquitetura”**. Módulo. Rio de Janeiro, 1960.

OLIVEIRA, M.M de. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória. Cadastro, Fotografia, Fotogrametria e Arqueologia**. Programa Monumenta / Iphan. Cadernos Técnicos número 7, 2005.

PESSOA, D.F. **A Estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos históricos, Científicos, e Ttecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Manutenção**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

PORTO, C.E. **As Formas Estruturais Na Arquitetura De Brasília: Uma Saga Tecnológica**. Departamento de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

____ **Princípios de Fotogrametria.** Facultad de Ingeniería Centro de Geociencias Aplicadas Cátedra: Fotointerpretación. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

REISS, M.L.L. **Restituição Fotogramétrica Flexível de Imagens à Curta Distância: Estudo de Métodos e Desenvolvimento de Protótipo.** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Unesp. 2002.

RESENDE, W. de S. **Fotogrametria Digital e Patrimônio Histórico: Uma Proposta Metodológica.** Fórum Patrimônio: Ambiente, Construção, e Patrimônio Sustentável. Belo Horizonte, 2008.

RIBEIRO, J.C. **Princípios de Fotogrametria.** Departamento de Engenharia Florestal Universidade Federal de Viçosa, 2002.

ROSSETTI. E.P. **Palácio do Itamaraty: questões de história, projeto e documentação (1959-70).** Revista Vitruvius. Arqtextos 106.02 ano 09, mar 2009.

SANTOS da SILVA, L.; BICHO C. P. **PROJETO mVANT CORDEM/DNPM – Micro Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em monitoramento e fiscalização de atividades não autorizadas.** Universidade de Brasília. Faculdade De Tecnologia Departamento De Engenharia Civil E Ambiental. Laboratório De Visualização Interação E Simulação – L-Vis. Brasília, 2011.

SANTOS JÚNIOR, E.C.R. **A Estrutura do Palácio Itamaraty: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Recomendações de Manutenção.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

SANTOS, Z. M. S. P. **Elaboração de um Arquivo Arquitetônico inserido num Modelo Tridimensional Urbano**. Dissertação (Mestria em Detecção Remota). Departamento de Matemática Aplicada Faculdade de Ciências, Universidade do Porto. Porto, 2003.

SILVA, A. G. R; MELO, D. W. F. **Avaliação de Foto Retificada com o PhotoModeler**. Secretaria de Ciência e Tecnologia Instituto Militar de Engenharia Departamento de Engenharia Cartográfica. Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA P. P de. ; ARAUJO, R. L.; CERQUEIRA, R.W de. **Utilização do Software PhotoModeler na Conservação e Restauração de Monumentos**. Relatório final (Projeto de Iniciação à Pesquisa, cadeira de Graduação em Engenharia Cartográfica). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2001.

TEMBA. P. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de Cartografia. Universidade Federal Minas Gerais, 2000.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de Danos - Recomendações Básicas**. Textos para Discussão Volume 43– Série 2: Gestão de Restauo. Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (CECI), Olinda, 2009.

TOMAZ. P.C. **Preservação do Patrimônio Cultural e sua Trajetória no Brasil**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Fênix – Revista de História e Estudos Culturais. Maio/ Junho/ Julho/ Agosto de 2010 Vol. 7. Ano VII nº 2. Disponível em: www.revistafenix.pro.br

TOMMASELLI, A. M. G. **Um estudo sobre as técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para levantamentos 3D a curta Distância**. Geodesia Online – Revista da Comissão Brasileira de Geodésia, 2004. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2003/04.1/AT2003-res.htm>, data de acesso: 23 de maio de 2012.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica - Introdução**. Notas de aula, 2009.

TONERA, R. **Metodologia de Levantamento Gráfico e Mapeamento Digital de Patologias em Fortificações Históricas**. Universidade Federal de Santa Catarina – ETUSC. 2º Seminário Regional de Cidades Fortificadas. Montevideu, Uruguai, 2006.

VALENÇA, J. M. de A. **Monitorização do Estado de Conservação de Estruturas de Betão por Processamento de Imagem e Análise Multiespectral**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na especialidade de Mecânica das Estruturas e dos Materiais). Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra, 2011.

YANAGA, S. S. **Fotogrametria Digital a Curta Distância na Documentação do Patrimônio Arquitetônico – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

APÊNDICE

APÊNDICE A

A - ESTUDO COMPLEMENTAR

Com a finalidade de avaliar a influência que o tipo de câmara utilizada tem nos resultados, foi realizado um estudo complementar empregando a câmara Panasonic Lumix GF2, que servirá para efetuar a comparação entre os resultados obtidos pela câmara Nikon D700 utilizada no enfoque desta pesquisa.

Para a etapa de calibração foram utilizados os mesmos resultados para o levantamento do Auditório de Musica da UnB (Seção 3, Tabela 3.5), assim como a metodologia utilizada em cada um dos processos envolvidos (Seção 3, figura 3.3 pág. 51).

A.1 – TRABALHO DE CAMPO

A.1.1 Planejamento

Tendo em conta a descrição feita do local no Capítulo 4. Estudo de Caso: Palácio Itamaraty, é possível determinar o plano de distribuição das estações fotogramétricas como é apresentado na Figura A.1.

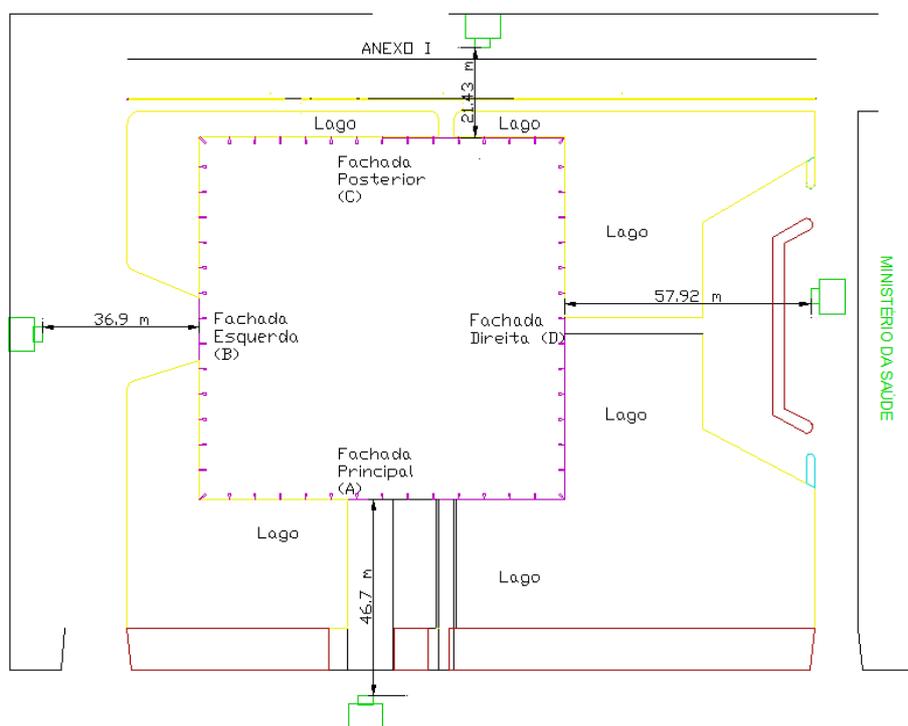


Figura A. 1 - Distribuição das estações fotográficas câmara Panasonic GF2.

As distâncias escolhidas foram de 46,70 metros para a fachada principal, 36,90 metros para a fachada esquerda, 57,92 metros para a fachada direita e finalmente de 21,43 metros para a fachada posterior.

A.1.2 - Tomada Fotográfica

Foi obtido um total de 44 imagens distribuídas assim; nove imagens para a fachada principal, oito para a fachada direita, dez para a fachada esquerda e para a fachada posterior, conforme apresentado nas figuras A.2, A.3, A.4 e A.5.





Figura A. 2 - Fotografias fachada principal





Figura A. 3 - Fotografias fachada direita





Figura A. 4 - Fotografias fachada esquerda





Figura A. 5 - Fotografias fachada posterior

A.2 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS E RESULTADOS

As fotografias foram introduzidas no *PhotoModeler* e escolhido o arquivo .CAM produzido na calibração da câmara. Desta maneira o programa identifica que todas as fotografias inseridas são tomadas com a mesma câmara possuindo os mesmos parâmetros de calibração.

Começa-se com a marcação de pontos homólogos em cada uma das fotografias. Recomenda-se inserir de duas até três, escolhendo as que registrem maior quantidade de pontos e ir depois de cada processamento inserindo mais fotografias até obter o modelo completo.

Procedeu-se à aplicação das texturas para a produção de ortofotos e posterior vetorização no AutoCAD. Primeiro foi produzida a modelagem da fachada principal (Figura A7), pois é aquela que apresenta menores obstáculos quanto à visibilidade dos elementos de interesse.



Figura A. 6 - Ortofoto da fachada principal

A Figura A.7 e A.8 mostram as ortofotos das fachadas direita e esquerda respectivamente, e a Figura A.9 o modelo tridimensional em estrutura de arame e com as texturas aplicadas na Figura A10.



Figura A. 7 - Ortofoto da fachada direita



Figura A. 8 - Ortofoto da fachada esquerda

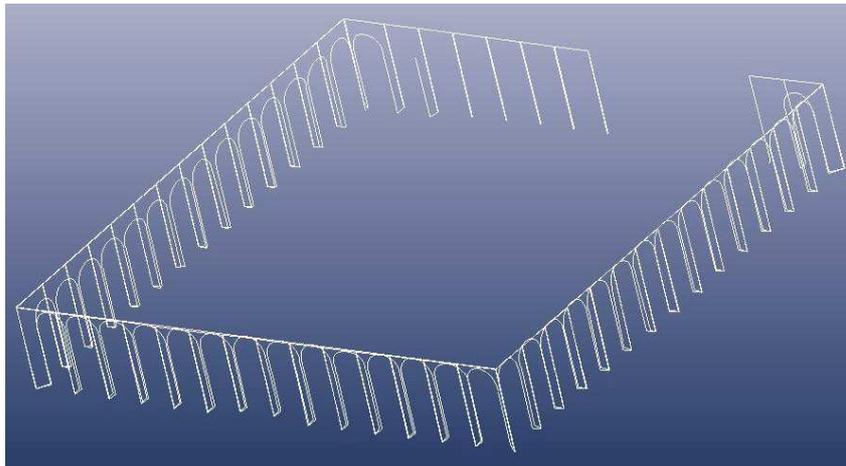


Figura A. 9 - Modelo tridimensional em estrutura de arame.

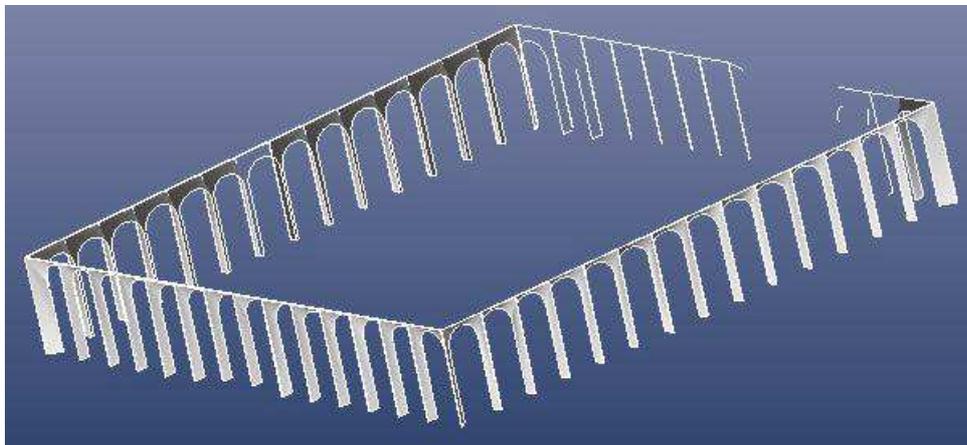


Figura A. 10 - Modelo tridimensional com texturas.

Cabe salientar que não foi possível restituir a fachada posterior (Figura A. 11) devido à pouca distância entre a ela e a câmara, o que não permitia se afastar o suficiente para adquirir imagens que registrassem áreas com significativa quantidade de pontos que beneficiarem a orientação do modelo especialmente na parte central onde também tem como principal limitação às passarelas que conectam o prédio com o Anexo I.

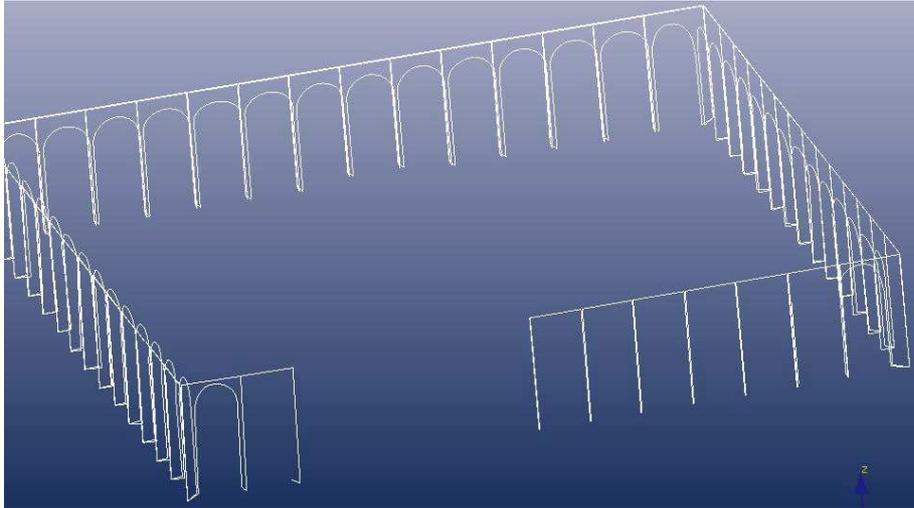


Figura A. 11 - Modelagem incompleta da fachada posterior.

Portanto, para que o modelo tridimensional não ficasse incompleto foi feita a restituição da fachada posterior no AutoCAD, por meio da produção de duas ortofotos conformadas por um pilar externo e um interno (Figura A. 12) que ao ser inseridas no AutoCAD como imagens raster permitiram a reprodução dos pilares internos até completar a fachada.

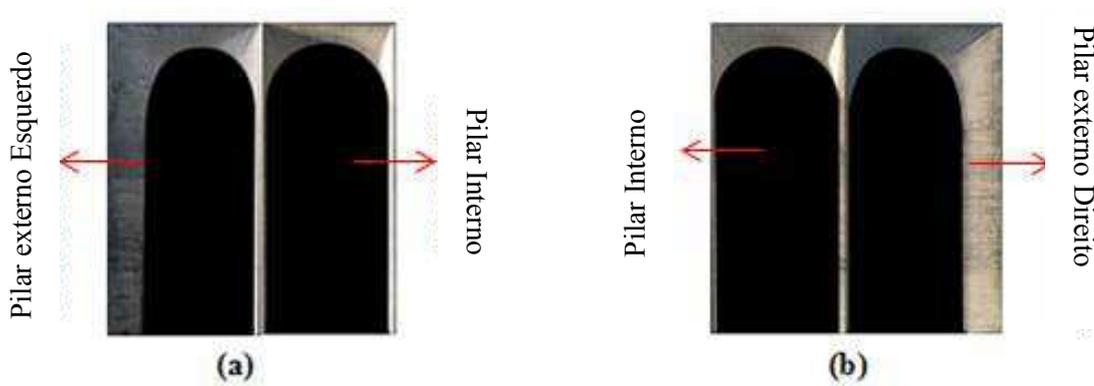


Figura A. 12 - (a) Pilares lado esquerdo. (b) Pilares lado direito.

Desta maneira obteve-se a elevação da fachada posterior que foi importada para o *PhotoModeler* completando o modelo tridimensional (Figura A.13).

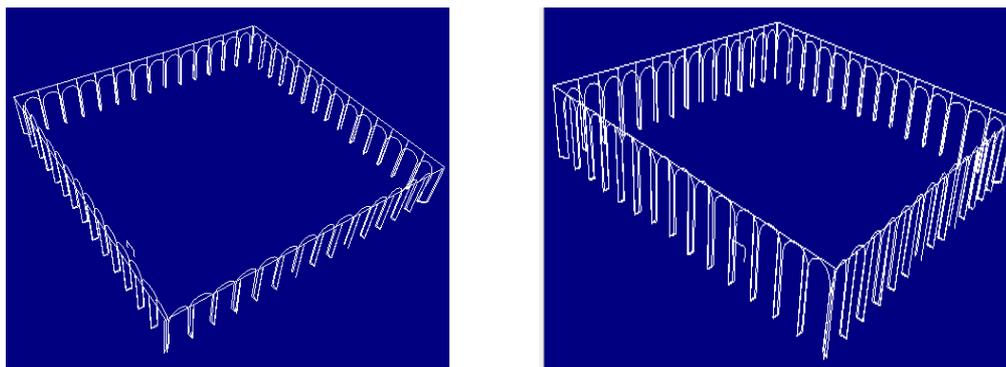


Figura A. 13 - Modelo tridimensional completo em estrutura de arame.

As medições efetuadas no *PhotoModeler* são apresentadas nas Tabelas A.1, A.2 e A.3.

Tabela A. 1 - Medições efetuadas na fachada principal.

MEDIÇÕES	Radio arco (m)	Altura de arranque arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilar (m)	Largura inferior pilar (m)
INTERNAS	2,805	10,04	13,788	0,073	5,93	1,484
EXTERNAS	2,51	9,050	13,785		6,927	2,284

Tabela A. 2 - Medições efetuadas na fachada esquerda.

MEDIÇÕES	Radio arco (m)	Altura de arranque arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilar (m)	Largura inferior pilar (m)
INTERNAS	2,81	10,033	13,802	0,075	5,927	1,53
EXTERNAS	2,50	9,020	13,817		6,897	2,31

Tabela A. 3 - Medições efetuadas na fachada direita.

MEDIÇÕES	Radio arco (m)	Altura de arranque arco (m)	Altura pilar (m)	Espessura pilar (m)	Largura Superior pilar (m)	Largura inferior pilar (m)
INTERNAS	2,84	10,063	13,794	0,07	6,029	1,53
EXTERNAS	2,51	9,007	13,796		7,043	2,26

Não foram efetuadas medições para a fachada posterior, pois devido aos inconvenientes apresentados (especialmente a pequena distância para tomada de fotos) e a pesar de que foi reconstruída a partir de outra fachada já completa no programa AutoCAD, não foi possível

avaliar as vantagens do software *PhotoModeler* que é um dos objetivos propostos para a pesquisa.

A.4 - LEVANTAMENTO AÉREO

Foi tomada uma grande quantidade de fotografias com o apoio do VANT - avião e escolhidas só seis caracterizadas por apresentar boa quantidade de detalhes de interesse, além de mostrar a cobertura desde diferentes ângulos. Estas fotos encontram-se na figura A. 14.

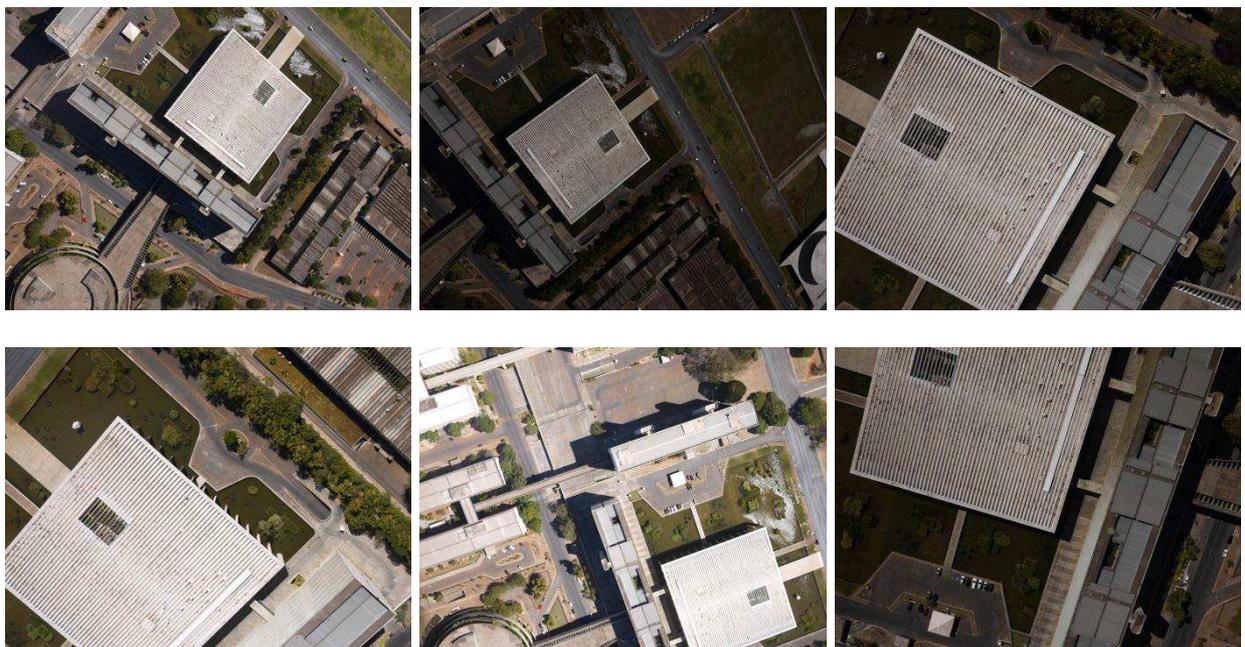


Figura A. 14 - Fotografias utilizadas para a restituição da cobertura

Elas foram inseridas no *PhotoModeler* e se procedeu à restituição das características, marcando cada um dos pontos homólogos em cada fotografia. O modelo produzido em estrutura de arame é mostrado na figura A.15 seguir.

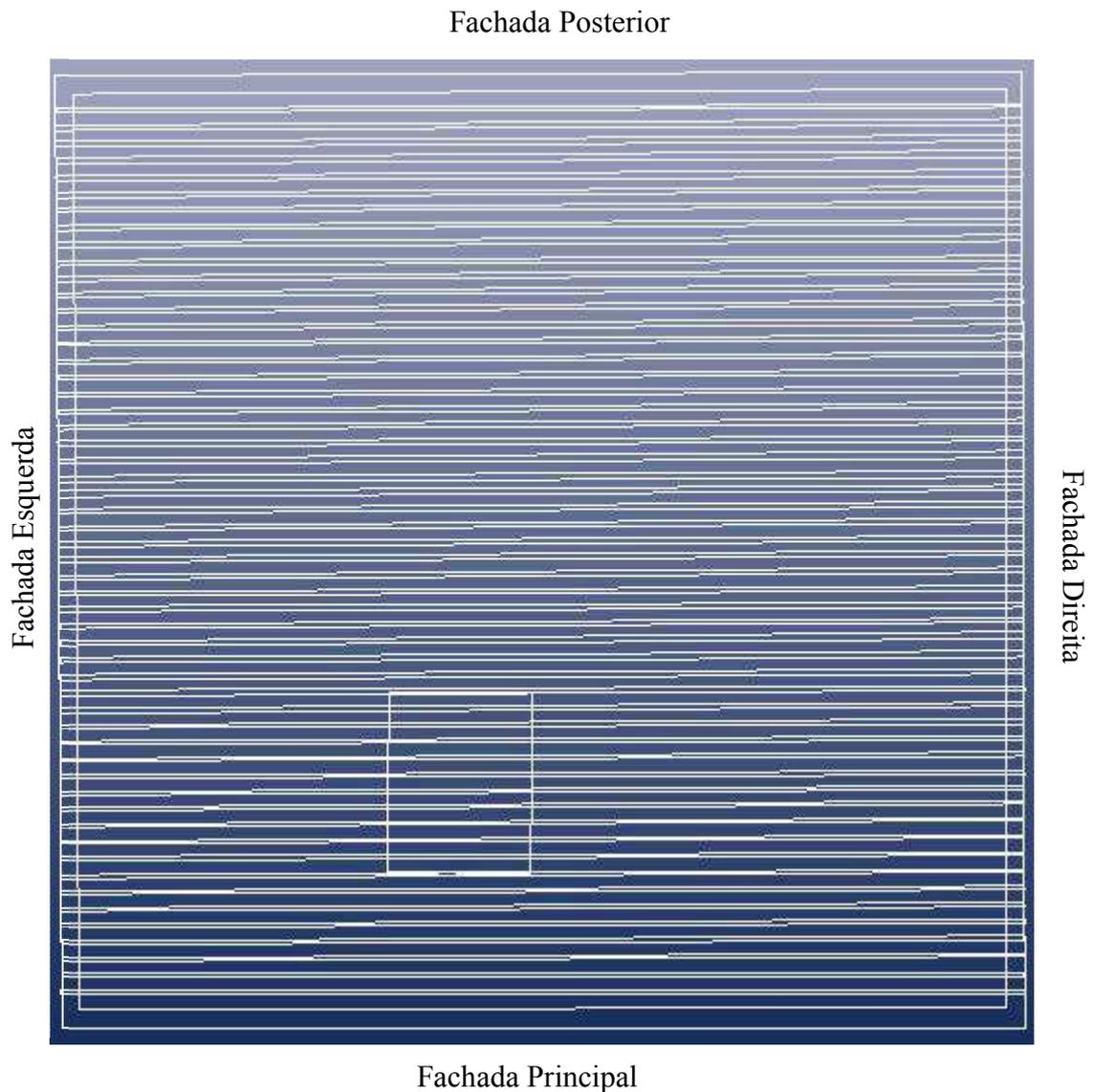


Figura A. 15 - Modelo em estrutura de arame cobertura. Levantamento câmara Panasonic GF2

Realizou-se as medições pertinentes com ajuda do *PhotoModeler*, obtendo-se os dados encontrados na tabela A.4.

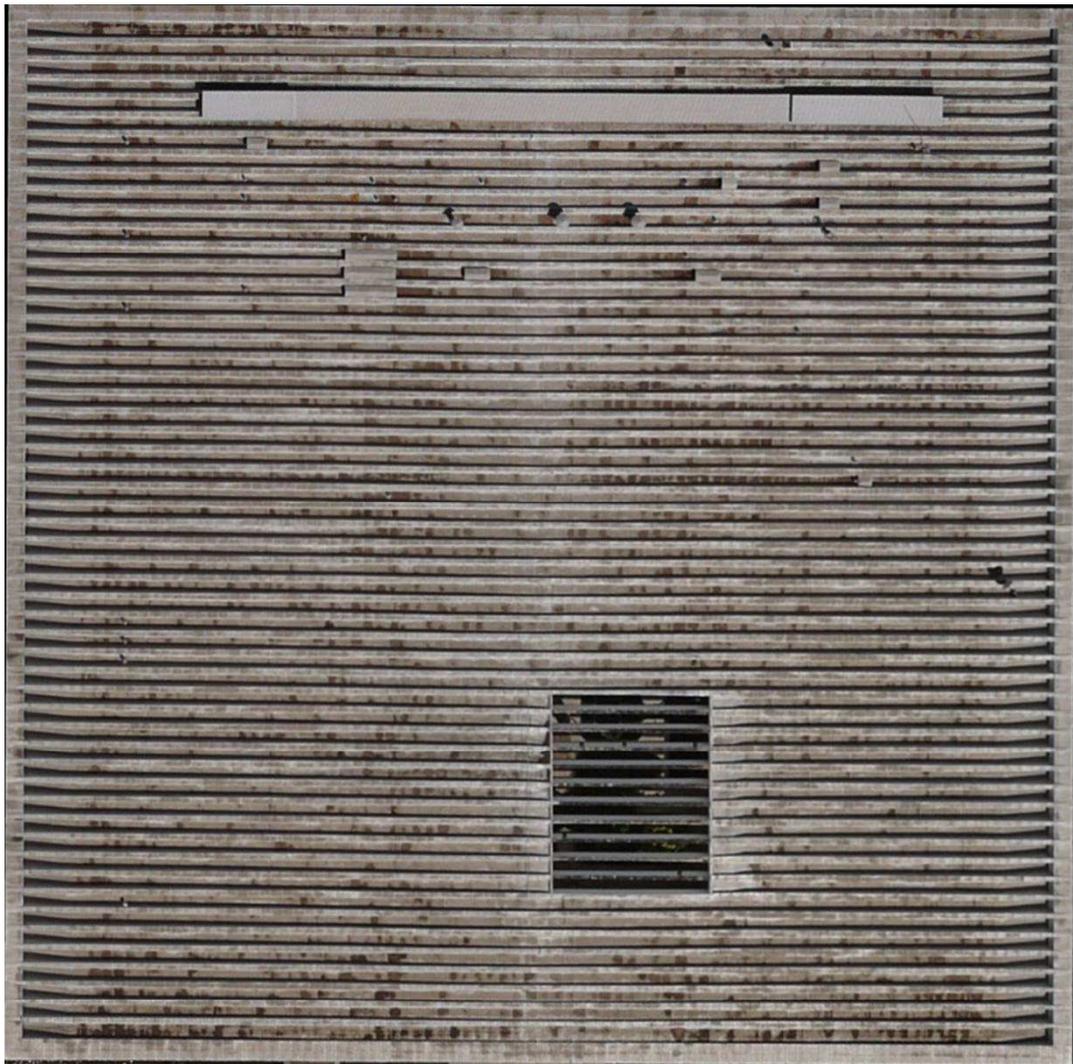
Tabela A. 4 - Medições efetuadas no modelo

COMPRIMENTO VIGAS (m)	86.18
PERÍMETRO (m)	344.36

Finalmente, foi aplicada a textura e obtém-se como resultado a ortofoto apresentada na figura A.16.

Fachada Posterior

Fachada Esquerda



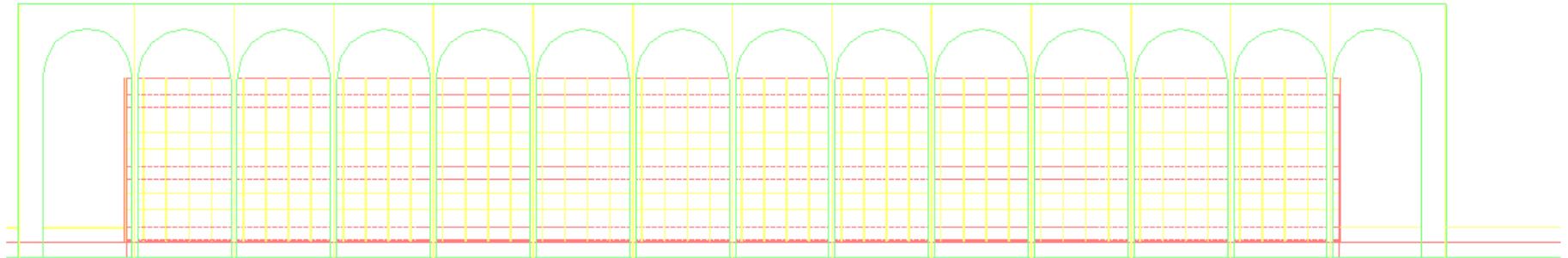
Fachada Direita

Fachada Principal

Figura A. 16 - Ortofoto cobertura. Levantamento Câmara GF2

APÊNDICE B

B - PLANTAS ORIGINAIS PALACIO ITAMARATY UTILIZADAS



PALÁCIO - FACHADAS
ESCALA 1/150

Figura B. 1 - Fachada Palácio. Desenho Original.

Setor de Arquitetura e Engenharia. Arq. José Carlos Grillo

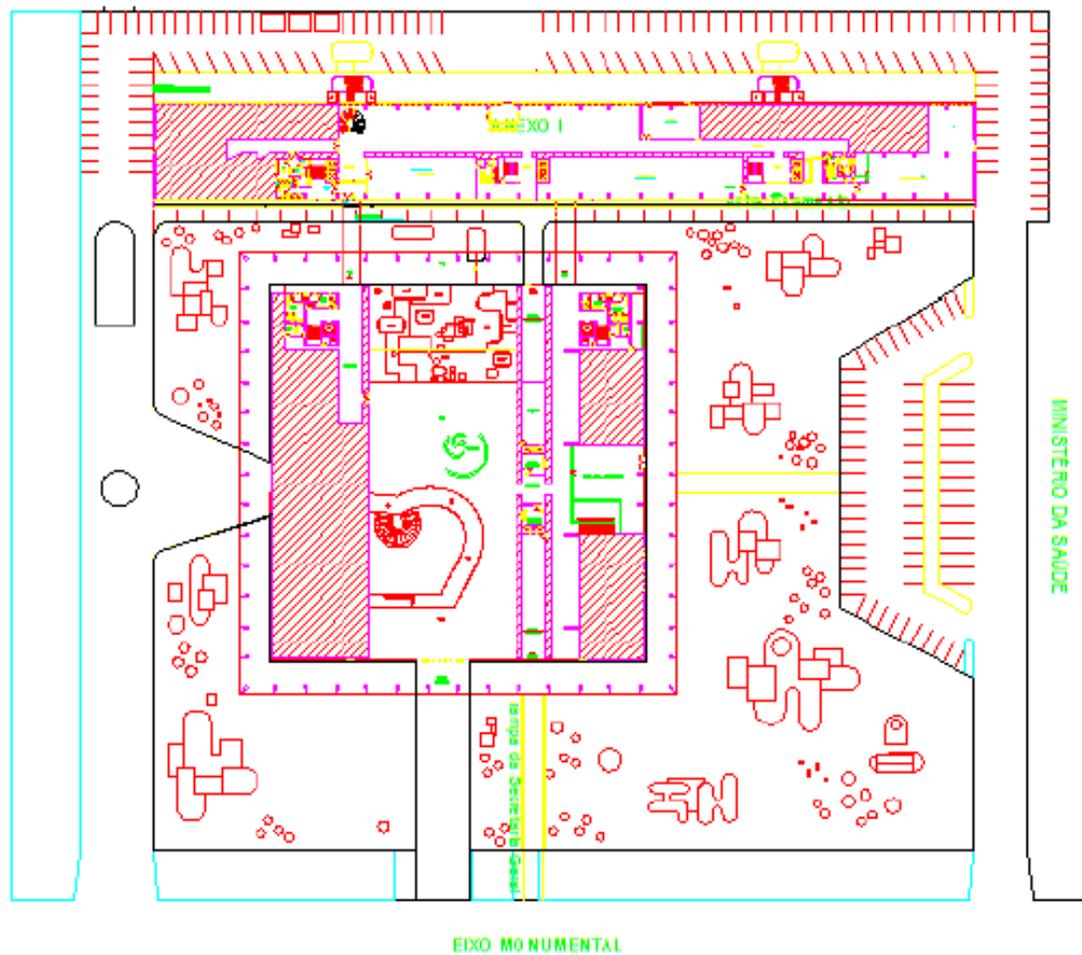


Figura B. 2 - Planta de Locação Palácio Itamaraty. Prédio Representativo.

Setor de Arquitetura e Engenharia. Arq. José Carlos Grillo

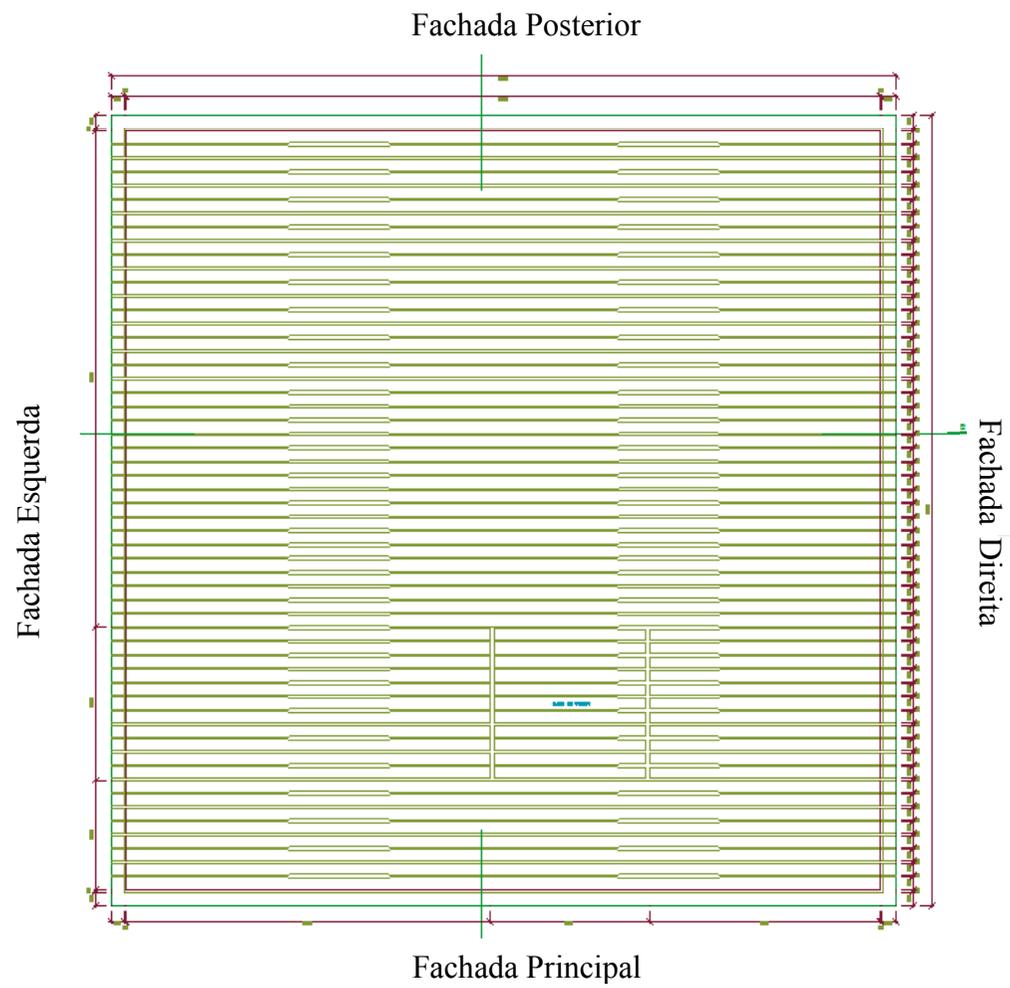


Figura B. 3 - Cobertura.
Setor de Arquitetura e Engenharia. Arq. José Carlos Grillo