



GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ  
Secretaria dos Recursos Hídricos

CONTRATO Nº 002/SRH/CE/2012



PROJETO EXECUTIVO DO 1º TRECHO  
JATI / RIO CARIÚS DO CINTURÃO  
DE ÁGUAS DO CEARÁ - CAC

**RELATÓRIO FINAL - TEXTO**

**SERVIÇOS DE TOPOGRAFIA - VOLUME III/VI**

**RELATÓRIO AEROFOTOGRAMÉTRICO - TOMO III/III**

**RELATÓRIO DO RECOBRIMENTO**

**AEROFOTOGRAMÉTRICO E DO PERFILAMENTO A LASER**



0	07/05/2012	B	Emissão Inicial		
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES		
TIPO DE EMISSÃO	(A) PRELIMINAR	(D) PARA COTAÇÃO	(G) CONFORME CONSTRUIDO		
	(B) PARA APROVAÇÃO	(E) PARA CONSTRUÇÃO	(H) CANCELADO		
	(C) PARA CONHECIMENTO	(F) CONFORME COMPRADO	(I) DE TRABALHO		
					
PROJETO:			DATA:		
PROJETISTA:			DATA:		
VERIFICAÇÃO:			DATA:		
APROVAÇÃO:			DATA:		
	<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH</b> <b>CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ – CAC</b> <b>PROJETO EXECUTIVO DO TRECHO 1 – JATI-CARIUS</b>				
<b>SERVIÇOS AEROFOTOGRAMÉTRICO E CARTOGRÁFICO</b>					
Título	<b>RELATÓRIO DE COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E DE PERFILAMENTO A LASER</b>  DATA (05/2012)				
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO	DATA	RUBRICA
PROJETISTA			SRH-CE		
DESENHISTA			SRH-CE		
VERIFICADO					
			CLIENTE: SRH-CE		
ESCALA	DOCUMENTO Nº: CAC.PE-T1-REL-GRT1.RCA-AFM-001				REVISÃO
	PROJETISTA: VBA TECNOLOGIA E ENGENHARIA S/A				0
	CLIENTE: SRH-CE				



Título		RELATÓRIO DE COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E DE PERFILAMENTO A LASER																												Número							Folha						
																														CAC.PE-T1-REL- GRT1.RCA-AFM-001							2/42						
Esta folha índice indica em que revisão está cada folha na emissão citada																																											
Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7								
1	X								36	X								71									106																
2	X								37	X								72									107																
3	X								38	X								73									108																
4	X								39	X								74									109																
5	X								40	X								75									110																
6	X								41	X								76									111																
7	X								42	X								77									112																
8	X								43									78									113																
9	X								44									79									114																
10	X								45									80									115																
11	X								46									81									116																
12	X								47									82									117																
13	X								48									83									118																
14	X								49									84									119																
15	X								50									85									120																
16	X								51									86									121																
17	X								52									87									122																
18	X								53									88									123																
19	X								54									89									124																
20	X								55									90									125																
21	X								56									91									126																
22	X								57									92									127																
23	X								58									93									128																
24	X								59									94									129																
25	X								60									95									130																
26	X								61									96									131																
27	X								62									97									132																
28	X								63									98									133																
29	X								64									99									134																
30	X								65									100									135																
31	X								66									101									136																
32	X								67									102									137																
33	X								68									103									138																
34	X								69									104									139																
35	X								70									105									140																
0	07/05/2012																	C																	Emissão Inicial								
Rev.	Data																	Em.																	Descrição das revisões								
TIPO DE EMISSÃO																																											
(A) Preliminar										(E) Para Construção										(I) de Trabalho																							
(B) Para Aprovação										(F) Conforme Comprado										()																							
(C) Para Conhecimento										(G) Conforme Construído										()																							
(D) Para Cotação										(H) Cancelado										()																							



---

---

## **APRESENTAÇÃO**



## APRESENTAÇÃO

Este volume representa o Relatório de Cobertura Aerofotogramétrica e de Perfilamento a Laser relativo ao serviço de levantamento aerofotogramétrico e perfilamento a laser do trecho Jati-Cariús, referente ao Projeto Cinturão das Águas do Ceará – CAC.

Na cobertura aerofotogramétrica foi utilizada a câmara digital marca Leica modelo RCD 105, que tem distância focal de 60 mm e resolução geométrica de 6,8 micra. As imagens fotográficas foram obtidas com GSD (*Ground Sample Distance*) médio de 20 cm, e no perfilamento a laser obteve-se uma densidade média de 1 ponto/m<sup>2</sup>. A área total recoberta pelas fotografias aéreas foi de aproximadamente 421 Km<sup>2</sup>, enquanto que a área da cobertura do perfilamento a laser totalizou aproximadamente 320 Km<sup>2</sup>.

O projeto está referenciado ao Sistema Geodésico SAD 69, adotando-se o Sistema de Projeção UTM, fuso 24 (meridiano central 39°W).



---

---

## ÍNDICE



## ÍNDICE

### APRESENTAÇÃO

1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO .....	8
2 - COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E PERFILAMENTO LASER .....	10
3 - PROCESSAMENTO DAS TRAJETÓRIAS .....	13
4 - FILTRAGEM DOS PONTOS OBTIDOS NO PERFILAMENTO A LASER .....	15
5 - AERONAVE E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	17

### ANEXOS

ANEXO I - MAPA GERAL DA ÁREA DA COBERTURA AÉREA	
ANEXO II - MAPA GERAL DA COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA	
ANEXO III - MONOGRAFIA DA BASE TERRESTRE M-013	
ANEXO IV - CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA RCD 105	
ANEXO V - CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE PERFILAMENTO ALS 60	
ANEXO VI - RELATÓRIO DIÁRIO DE VOO	



## **1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO**

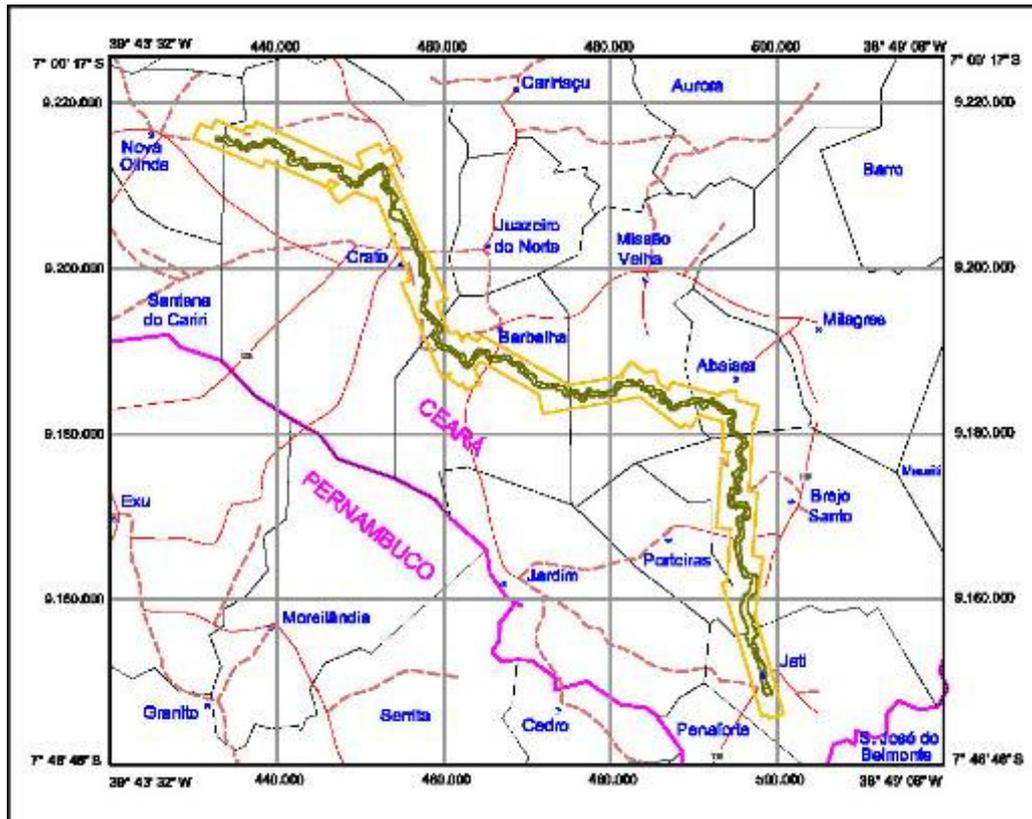
---

---



## 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

A região mapeada localiza-se no trecho Jati-Cariús do Projeto Cinturão das Águas do Ceará, compreendida entre os meridianos  $38^{\circ}49'08''$  W e  $39^{\circ}43'32''$  W, e os paralelos  $7^{\circ}00'17''$  S e  $7^{\circ}46'46''$  S.





## **2 - COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E PERFILAMENTO LASER**

## 2 - COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E PERFILAMENTO LASER

A cobertura aerofotogramétrica e o perfilamento a laser foram realizados simultaneamente com o emprego da câmara digital marca Leica modelo RCD 105 e do sistema de perfilamento a laser marca Leica modelo ALS 60. A operação integrada dos dois sensores, o emprego de um receptor de satélites embarcado na aeronave e de outro receptors instalado numa base terrestre de coordenadas conhecidas, permitiu a determinação de trajetórias comuns aos dois sensores com a realização de vôo único para cada faixa.

No planejamento do vôo integrado dos sensores ALS60 e RCD105 foi empregado o software AeroPlan, da Leica Geosystems. Em função do GSD (Ground Sample Distance ) de 20 cm requerido, do limite de recobrimento aerofotogramétrico, dos percentuais de recobrimento longitudinal e lateral das fotografias, da densidade de pontos laser requerido e do modelo digital de terreno global SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), o software determinou automaticamente:

- as orientações das faixas de vôo;
- as coordenadas do centro de exposição de cada fotografia;
- as alturas médias de vôo considerando a variação orográfica ao longo de cada faixa de vôo e das faixas adjacentes;
- o ângulo de abertura (FOV), frequência de operação e de perfilamento do laser.

Como a área de sobreposição lateral do perfilamento do laser é menor do que a área de sobreposição lateral da fotografia aérea, considerou-se a sobreposição lateral do laser como fator predominante para a determinação das distâncias entre as faixas de vôo. Como consequência, obtivemos uma área de sobreposição lateral das fotografias superior a 30%.

Os dados do planejamento foram inseridos no sistema de gerenciamento de vôo da aeronave, permitindo o seu posicionamento e orientação precisa na execução de cada faixa de vôo. Com o emprego do sistema inercial de navegação (IMU) e de um receptor de satélites embarcados na aeronave, pudemos determinar uma trajetória precisa da aeronave durante todo o percurso. Garantiu-se que a distância entre a base terrestre de rastreamento e os limites extremos do vôo fosse inferior a 50 Km.

O recobrimento aéreo foi realizado utilizando como base terrestre o marco M-013, localizado no Sítio Barreira no município de Missão Velha – CE. Este marco foi implantado pela Aeromapa nos serviços realizados para a VBA/SRH durante o ano de 2010, e suas coordenadas são apresentadas no quadro abaixo:

**Coordenadas DATUM SAD-69 - Fuso 24 S - Meridiano 39° W**

Marco	E (m)	N (m)	H Ortometrica	Latitude	Longitude	H Elipsoidal
M-13	477233.861	9184237.208	518.5053	7° 22' 47,9291 9" S	39° 12' 22,64386" W	534.496



As imagens fotográficas, as informações do perfilamento a laser, os dados de posicionamento inercial e dados de rastreamento de satélites coletados durante o voo foram armazenados em discos rígidos a bordo da aeronave, e posteriormente enviados para a fase seguinte de pós-processamento.

No item Anexos encontram-se os relatórios diários de voo, contendo as informações referentes ao dia de voo, número da faixa, quantidade de fotografias por faixa, horário de início da faixa, nome das fotografias digitais obtidas, FOV e densidade de pontos do perfilamento a laser, GSD, etc.

Resumidamente, o recobrimento aéreo realizado apresentou as seguintes elementos técnicos:

- Aeronave: Embraer Seneca II;
- Câmera digital: marca LEICA modelo RCD 105 com resolução de 6,8 micra e distância focal de 60 mm;
- Plataforma Giroestabilizada Marca Leica modelo PAV80;
- IPAS ( Inertial Position and Attitude System );
- Sistema embarcado de perfilamento a laser marca Leica modelo ALS 60;
- GSD médio (Ground Sample Distance): 20 cm
- Total de faixas de voo: 27
- Total de fotografias: 846
- Densidade média de pontos do perfilamento a laser : 1 ponto / m<sup>2</sup>
- Ângulo médio de abertura do Laser (FOV): 40°
- A tomada das fotografias aéreas foi feita com sol acima de 30° do horizonte;
- A inclinação máxima do eixo óptico da câmara em relação à vertical, não excedeu a 3° por fotografia, admitindo-se 2° na média por faixa;
- O ângulo de deriva entre as exposições sucessivas foi mantido o menor possível, adotando-se uma tolerância média de 3° em cada faixa;
- As fotografias aéreas foram obtidas com mínimo de 60% para a sobreposição longitudinal e sobreposição lateral superior a 30%.
- Escala média aproximada das fotografias: 1 : 8.000



### **3 - PROCESSAMENTO DAS TRAJETÓRIAS**

---

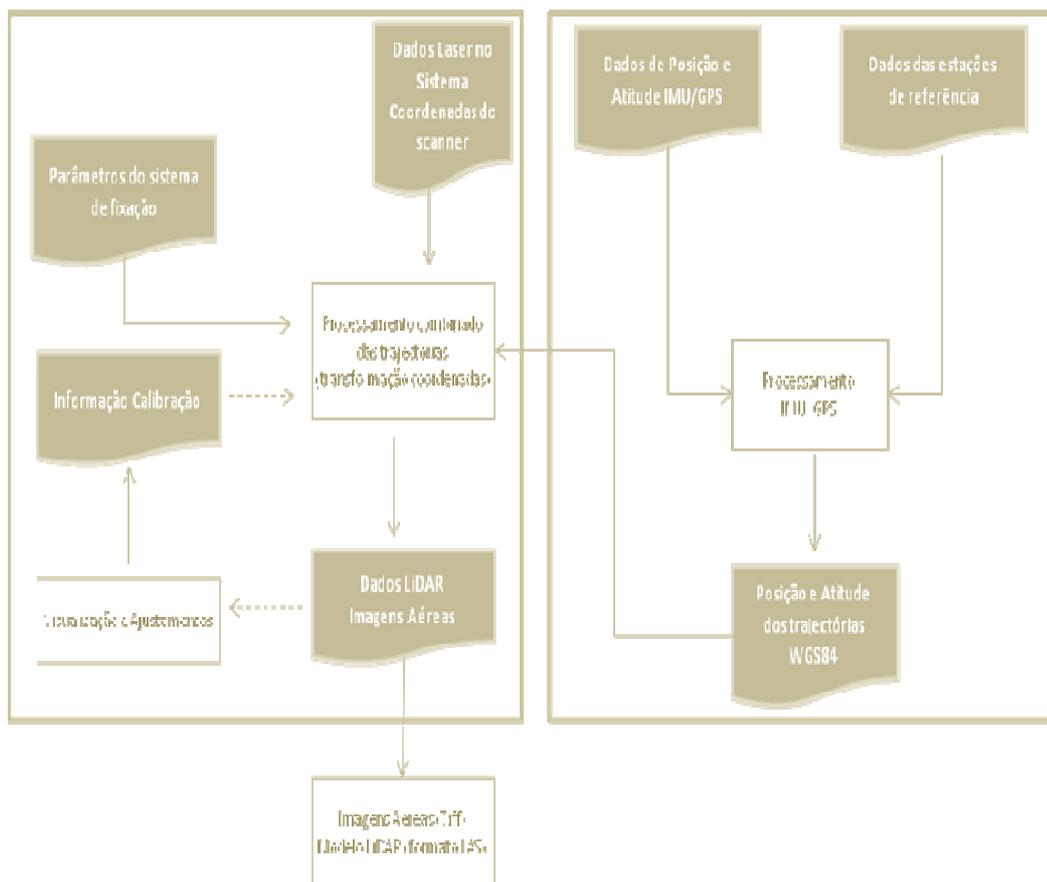
---

### 3 - PROCESSAMENTO DAS TRAJETÓRIAS

A trajetória que um determinado sensor descreve no espaço é resultante do somatório do posicionamento espacial obtido através dos dados de rastreamento coletados pelo receptor de satélite embarcado e pelo receptor instalado em terra em uma estação base de referência, acrescidos dos dados de posicionamento inercial armazenados pelo IMU (Inertial Measurement Unit). No cálculo do posicionamento espacial através de rastreamento de satélites, foi adotado o método cinemático pós-processado, considerando a base terrestre M-013 como estação de referência e o receptor embarcado na aeronave como estação “rover”.

A determinação da trajetória com precisão, permite interligar os diferentes sensores operando simultaneamente na aeronave, realizando-se a sincronização dos instantes de exposição das fotografias aéreas e dos instantes de emissão dos pulsos do laser. A **Figura 3.1** apresenta o fluxo de trabalho realizado no processamento das trajetórias:

**Figura 3.1 – Fluxograma de Processamento da Trajetória**





## **4 - FILTRAGEM DOS PONTOS OBTIDOS NO PERFILAMENTO A LASER**

#### 4 - FILTRAGEM DOS PONTOS OBTIDOS NO PERFILAMENTO A LASER

Para a obtenção do modelo digital de superfície foi executada uma cobertura LiDAR, utilizando o sistema embarcado de perfilamento marca LEICA modelo ALS 60. A densidade média de pontos foi de 1 ponto / m<sup>2</sup> ao nível do terreno (MDT). No entanto, nas regiões com interferência de vegetação, edificações e/ou elementos artificiais, foi garantida esta densidade para o modelo digital de superfície (MDS).

No processo de filtragem dos pontos obtidos no perfilamento a laser foram utilizados os softwares TerraScan, TerraMatch e TerraModeler desenvolvido pela TerraSolid Limited.. A filtragem dos pontos ocorreu em duas etapas. Numa primeira aproximação, os pontos mais baixos foram pesquisados e em seguida foi construída uma malha triangular TIN (Triangular Irregular Network). Os triângulos do modelo inicial, normalmente apresentam seus lados abaixo da superfície do terreno, com seus vértices apoiados nos pontos mais baixos do perfilamento. Numa segunda filtragem dos pontos da superfície terrestre, o software começa por modelar uma segunda superfície adicionando novos pontos de forma iterativa. Cada ponto adicionado faz com que o novo modelo gerado aproxime-se cada vez da superfície real do terreno.

A partir do MDT foram geradas as curvas de nível com equidistância de 1 metro. Em seguida as curvas de nível e os pontos do MDT foram sobrepostos aos modelos estereofotogramétricos para a verificação de sua aderência ao terreno. Nos locais em que foram encontradas divergências, foram feitas a edição de pontos e a criação de **breaklines** para auxiliar na modelagem do terreno.

Finalmente foi gerada um grid regular com espaçamento de 0,5 metros caracterizando o MDT (Modelo Digital de Terreno) Após a classificação dos pontos laser, dispendo em layers os pontos de terreno, os pontos de vegetação de determinando-se Adotando-se o mesmo procedimento, foi extraído o modelo digital de superfície (MDS), com a classificação dos pontos do terreno, vegetação e demais elementos naturais e artificiais.



---

## **5 - AERONAVE E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

---

## 5 - AERONAVE E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Na realização da cobertura aerofotogramétrica foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Aeronave Embraer Seneca II com as seguintes características:
  - Velocidade de cruzeiro: 280 Km / hora
  - autonomia: 3.350 Km

**Figura 5.1 - Aeronave EMBRAER Sêneca II**



- Câmera digital marca LEICA modelo RCD 105 com as seguintes características:
  - Fotografia aérea digital a cores naturais com câmara de médio formato.
  - Resolução radiométrica de 12 bits.
  - Fotografias com dimensão de 7212 x 5408 pixels.
  - Tamanho do pixel (CCD): 6.8 micra
  - Distância focal: 60 mm
  - Canais espectrais: Pancromático, vermelho, azul, verde
  - Plataforma Giro-estabilizada Marca Leica modelo PAV80
  - Capacidade de armazenamento: 4 500 imagens
  - Obturador: Variável até 1/3649 sec
  - IPAS (Inertial Position and Attitude System), que registra o tempo de referência durante a trajetória da aeronave e armazena as informações de rastreamento de satélites do receptor embarcado e os posicionamentos angulares (roll, pitch, heading), provenientes do IMU (Unidade de medição inercial), que integra o sistema de varredura a laser. As informações são gravadas em discos rígidos de grande capacidade de armazenamento, utilizando-se de uma ligação Ethernet ao SC60 Data Logger Module.

Figura 5.2- Componentes da Câmara RCD 105



- Sistema embarcado de varredura a laser marca LEICA modelo ALS 60:
  - Laser seguro para a visão (Eye-safe laser scanner);
  - 200.000 Pulsos por Segundo (200KHz);
  - Até 4 retornos por pulso;
  - Ângulo de varredura variável com abertura até 60 graus (+/-30 graus);
  - 1000 Pulsos por varredura;
  - Precisão da medição 1 cm (1 sigma).

Figura 5.3 – Sistema a Laser ALS 60



- Receptor de satélites embarcado com as seguintes características :

Parâmetros	Especificações
Tipo de antena	Airborne GPS/GLONASS antena L1/L2
Sinais Captados	GNSS + GLONASS
Registro da aquisição	10 Hz
Capacidade de Armazenamento	500 GB removable HDD

- Receptor de satélites de dupla frequência, marca Novatel modelo DL-4 Plus e antena GPS 702 instalados na base terrestre;



**Figura 4 – Receptor GPS Novatel DL-4 Plus e Antena GPS 702**





**ANEXOS**

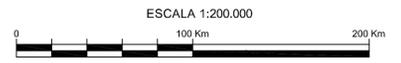
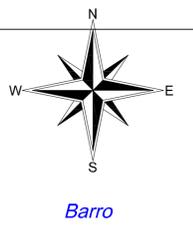
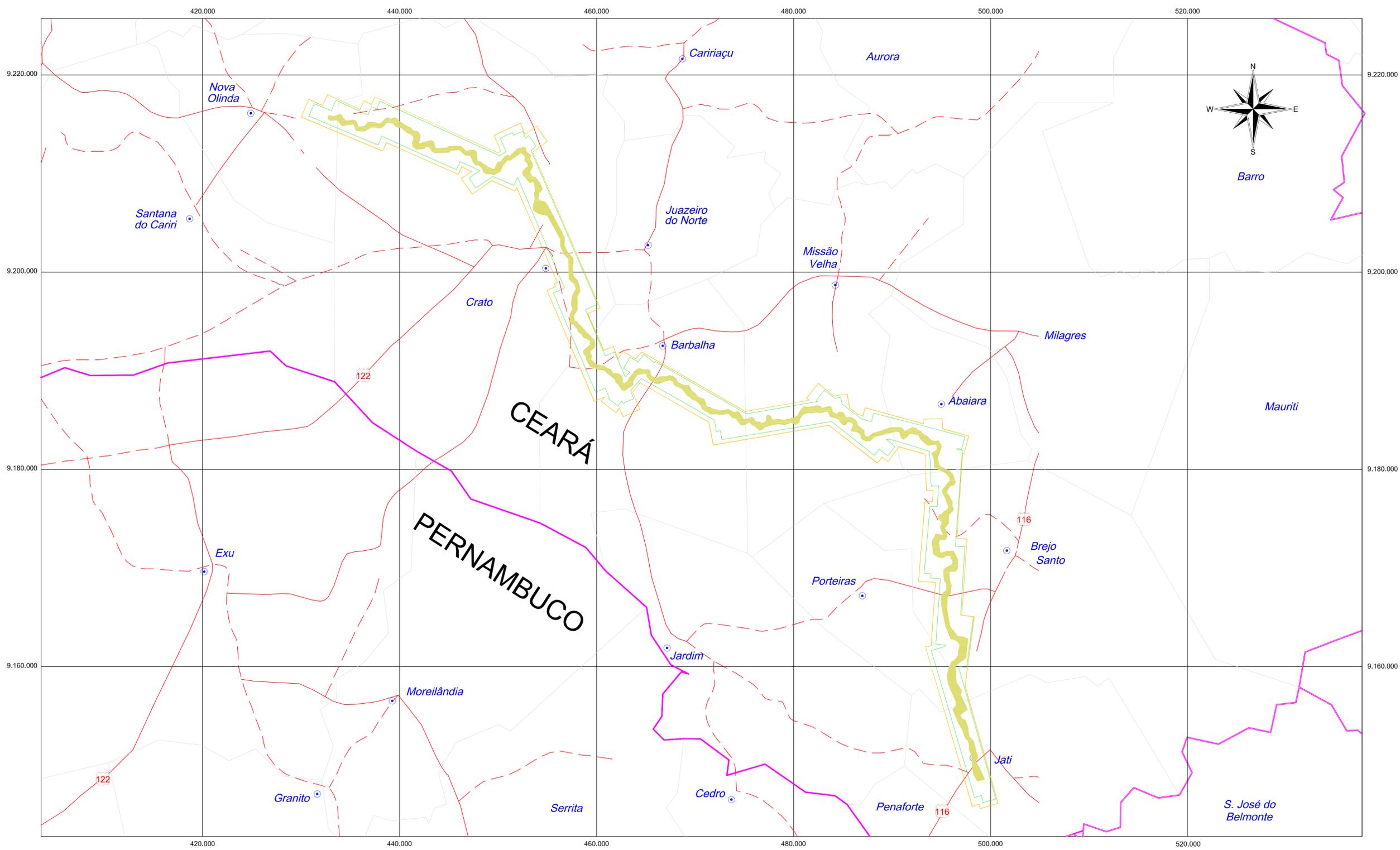
---



## **ANEXO I - MAPA GERAL DA ÁREA DA COBERTURA AÉREA**

---

---



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL : MAREGRÁFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: SAD-69  
 FUSO 24 ( MC - 39°)

**LEGENDA:**

- MUNICÍPIOS / LOCALIDADES
- RODOVIA ESTADUAL/FEDERAL NÃO PAVIMENTADA
- RODOVIA ESTADUAL/FEDERAL PAVIMENTADA
- DIVISA ESTADUAL
- DIVISA MUNICIPAL
- LIMITE DE RESTITUIÇÃO ( APROXIMADAMENTE 280 Km² )
- ÁREA DO RECONHECIMENTO FOTOGRÁFICO ( APROXIMADAMENTE 421 Km² )
- ÁREA DO RECOBRIMENTO DO LASER ( APROXIMADAMENTE 320 Km² )

**NOTAS :**

1. ELABORADO POR AEROMAPA

**DESENHOS DE REFERÊNCIA :**

**REVISÕES**

N°	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO INICIAL	00/00/00	XXX	XXX	XXX



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
 Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH

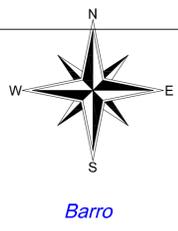
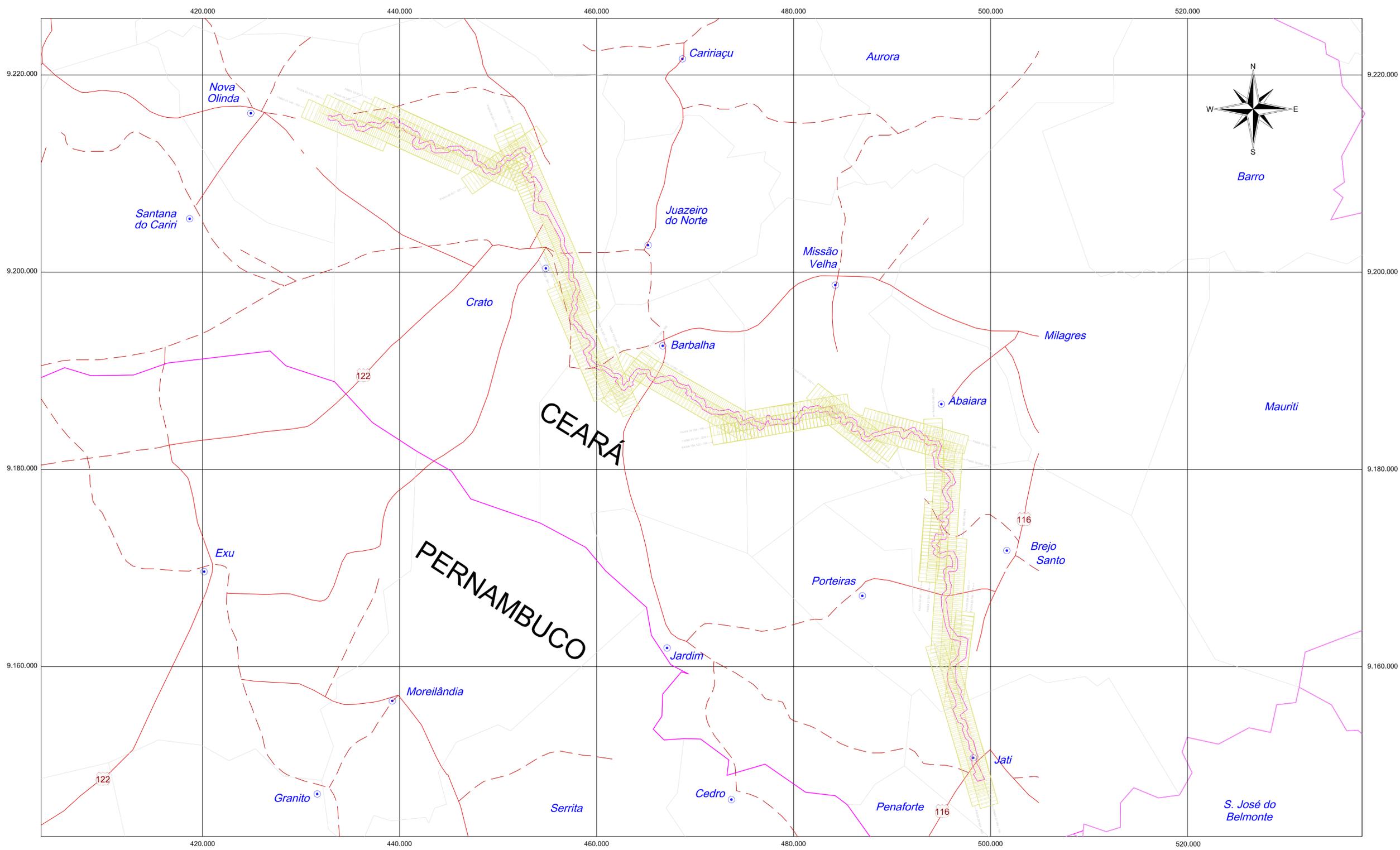
**CAC - CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ**  
 PROJETO EXECUTIVO DO 1º TRECHO JATI / RIO CARIUS COM  
 153,6 KM DO CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ - CAC

Relatório do Recobrimento Aerofotogramétrico e do Perfilamento a Laser

DES.: LEANDRO VISTO: AGJ APROV.: ASD ESCALA: 1:200.000	CONTEGDO: <b>MAPA GERAL DAS ÁREAS DE RECOBRIMENTO FOTOGRÁFICO E DO PERFILAMENTO A LASER</b>	LOCAL: FORTALEZA/CE DATA: ABRIL/2012 REV.: FOLHA: 01/01 N° DO DESENHO:
-----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------



## **ANEXO II - MAPA GERAL DA COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA**



**LEGENDA:**

- MUNICÍPIOS / LOCALIDADES
- RODOVIA ESTADUAL/FEDERAL NÃO PAVIMENTADA
- RODOVIA ESTADUAL/FEDERAL PAVIMENTADA
- DIVISA ESTADUAL
- DIVISA MUNICIPAL
- LIMITE DO RECOBRIMENTO FOTOGRÁFICO (ÁREA DO VÔO: 421,2 Km²)
- LIMITE DE RESTITUIÇÃO

**NOTAS:**

1. ELABORADO POR AEROMAPA

**DESENHOS DE REFERÊNCIA:**

**REVISÕES**

Nº	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO INICIAL	00/00/00	XXX	XXX	XXX



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH

**CAC - CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ**  
PROJETO EXECUTIVO DO 1º TRECHO JATI / RIO CARIUS COM  
153,6 KM DO CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ - CAC

Relatório do Recobrimento Aerofotogramétrico e do Perfilamento a Laser

DES.: LEANDRO

VISTO: AGJ

APROV.: ASD

ESCALA: 1:200.000

CONTEGDO:

MAPA GERAL COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA

LOCAL: FORTALEZA/CE

DATA: ABRIL/2012

REV.: FOLHA: 01/01

Nº DO DESENHO:



---

---

**ANEXO III - MONOGRAFIA DA BASE TERRESTRE M-013**

---

---



## AEROMAPA S/A

Cartográfico, Informático e Projetos

Rua Prof. Daracy Cesarino, 278 - Paricó - Curitiba - Paraná  
Fone/Fax: (0XX41) 3345 - 2579 site: [www.aeromapa.com.br](http://www.aeromapa.com.br)

Serviço/Ano: VBA Ceará - 158/ACIP 2010

Estado: Ceará

Município: Missão Velha

Localidade: Sítio Barreira

### MONOGRAFIA DO MARCO

#### PONTO: M-013

##### COORDENADAS GEOGRÁFICAS NO DATUM SAD-69

LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE GEOMÉTRICA ( h )
7° 22' 47,92919" S	39° 12' 22,64386" W	534,496

##### COORDENADAS UTM NO DATUM SAD-69 - MERIDIANO CENTRAL : 39° W

N	E	ALTITUDE ORTOMÉTRICA ( H )	FONTE ( H )
9184237,208	477233,861	518,5053	Nivelamento Geométrico

#### ITINERÁRIO

Partindo do trevo na rodovia CE-396 entre Barbalha e Missão Velha, segue-se em direção da localidade de Missão Nova. Com 6,3 Km passa-se pelo povoado de Missão Nova; Com mais 1,1 Km vira-se à esquerda; Com mais 5,7 Km chega-se no marco de azimuth AZ-013, que está implantado na margem direita da estrada e ao lado de uma cerca.

Seguindo em frente, com mais 0,18 Km chega-se no local do marco M-013, que está implantado na margem esquerda da estrada e ao lado de uma cerca.

Marco de Azimute: AZ-013

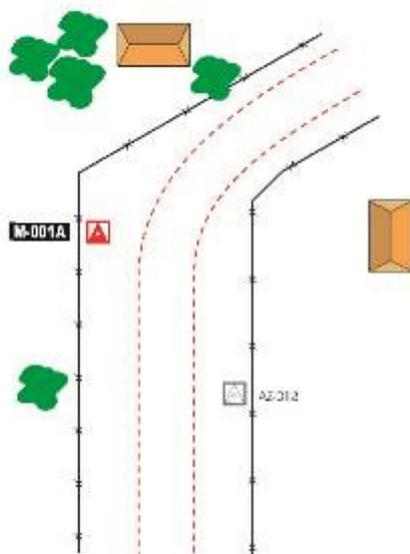
Lat: 7° 22' 44,92854" S Long: 39° 12' 23,57077" W H Geométrica: 522,962

N: 9184329,339

E: 477205,403

H Ortométrica: 506,8348

#### CROQUI DE LOCALIZAÇÃO



#### FOTOS DE IDENTIFICAÇÃO



DESCRIÇÃO: Marco padrão VBA.



## **ANEXO IV - CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA RCD 105**

---

---

## RCD105 Calibration Certificate



	<i>Camera Head</i>	<i>Serial Number</i>	<i>Camera Controller</i>	<i>Serial Number</i>
<i>This certificate is valid for</i>	<b>CH39</b>	<b>064</b>	<b>CC105</b>	<b>064</b>

*Calibration certificate issued on*      **July 21 2010**

\_\_\_\_\_  
Inspector      REUC

*Document code* **764308**

Leica Geosystems AG  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg  
Switzerland

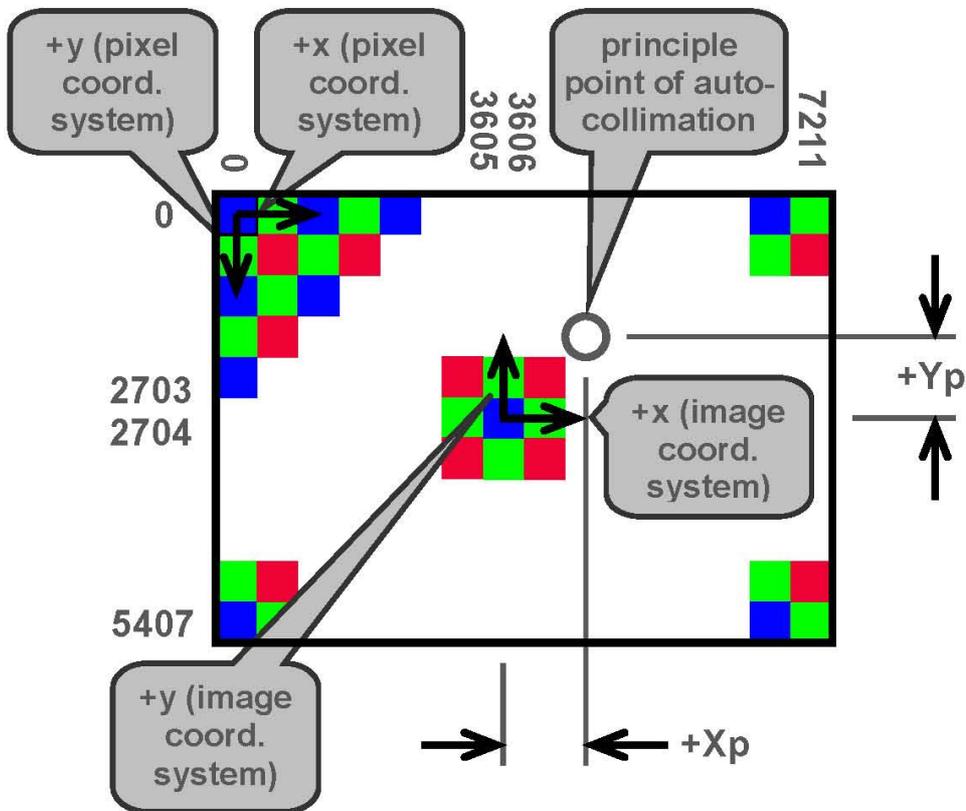


## Components

Component	Type	Serial Number
Camera head	CH39	64
Lens focal length (mm)	F = 60 mm	64
Filter	RGB	-
Filter	CIR	-
Camera Controller	CC105	64

## Nominal focal plane layout and conventions

- The illustration below is of the radiometric processed tif-image
- 7212 active columns, 5408 active rows
- Pixel coordinate system row and column coordinates are taken at the center of each pixel (see example for pixel 0, 0 below)
- Column 0, row 0 is at the upper left corner of the image
- Image center is between columns 3605 and 3606, and between rows 2703 and 2704
- Pixel coordinate system coordinates of image center 3605.5 and 2703.5
- Positive  $X_p$  or  $Y_p$  places the principle point of auto-collimation closer to the 7211, 0 pixel
- Pixel coordinates of principle point of auto-collimation =  $(3605.5+X_p, 2703.5-Y_p)$



## Calibration process

### Adjustment of optical systems in optical laboratory

<b>Process</b>	<b>Passed</b>	<b>Date</b>	<b>Inspector</b>
Lens focus optimized and distance set and CCD plane distance and plane set	✓	2010.06.27	NAS
CCD plane and distance set	✓	2010.06.27	NAS
Functional test performed, final focus images archived and edge spread function measured at better than 4 pixels at 10%-90%	✓	2010.06.27	NAS

### Radiometric calibration

<b>Process</b>	<b>Passed</b>	<b>Date</b>	<b>Inspector</b>
Radiometric calibration done	✓	2010.06.29	NAS
Dark signal (bias) files: CH39_serno_G3D.tif and CH39_serno_G4D.tif	✓	2010.06.29	NAS
Bright signal (pixel gain) files: CH39_serno_G3G.tif and CH39_serno_G4G.tif	✓	2010.06.29	NAS
Color calibration, Bayer placement and flaw map files: CH39_serno_G3P.txt and CH39_serno_G4P.txt	✓	2010.06.29	NAS
Static noise after calibration < 1% (pixel to pixel variation)	✓	2010.06.29	NAS
Static noise after calibration < 5% (across total image field)	✓	2010.06.29	NAS
Temporal noise < 2% (rms)	✓	2010.06.29	NAS

### Geometric calibration standard

<b>Process</b>	<b>Passed</b>	<b>Date</b>	<b>Inspector</b>
Measurements performed on calibration cage HTR	✓	2010.06.30	NAS
Cage calibration filename: htr_cagemodel_112807_final.xyz	✓	2010.06.30	NAS

## Sensor and lens data

### Focal plane data

Parameter	Value
Pixel size	6.8 $\mu\text{m}$
Sensor size [Pixel]	7212 x 5408
Sensor size [mm]	49.0416 x 36.7744 (61.2979 diagonal)

### Interior orientation parameters

Notes: Interior orientation coefficients follow the sign convention used in Leica Geosystems' Leica Photogrammetry Suite (LPS) software. Use of these coefficients, particularly the radial distortion coefficients, in other photogrammetry software may require changing the sign of the coefficients.

Interior orientation parameters below are determined using the Australis software package and reflect a static (i.e., laboratory) calibration. The parameters given reflect the so-called "balanced lens distortion" model.

Parameter	Symbol	Value	Std. dev.
Offset of principle point of focus [mm]	XP	-0.3047	9.7730E-04
	YP	0.032	8.9890E-04
Focal length [mm]	Cb	59.761	0.002797124
	K0	8.97882E-03	1.93553E-05
Radial distortion	K1	-2.07064E-05	3.42719E-08
	K2	4.45263E-09	4.11275E-11
Decentering distortion	P1	0.0000	0.000e0
	P2	0.0000	0.000e0
In plane distortion	B1 (affinity, or pixel stretching / compression)	0.0000	0.000e0
	B2 (shear, or diagonal distortion)	0.0000	0.000e0

**Lens distortion table**

*Note: This table is provided for users of photogrammetric software packages that do not allow direct input of the calibration coefficients provided in the preceding table. The table below is generated by plotting the distortion values using the coefficients in the preceding table and is therefore redundant information*

<b><i>r [mm]</i></b>	<b><i>dr [µm]</i></b>
0.0	0
1.0	9
2.0	17.8
3.0	26.4
4.0	34.6
5.0	42.3
6.0	49.4
7.0	55.8
8.0	61.4
9.0	66
10.0	69.5
11.0	71.9
12.0	73.1
13.0	72.9
14.0	71.3
15.0	68.2
16.0	63.5
17.0	57.2
18.0	49.3
19.0	39.6
20.0	28.2
21.0	15
22.0	0
23.0	-16.8
24.0	-35.3
25.0	-55.6
26.0	-77.6
27.0	-101.2
28.0	-126.5
29.0	-153.3
30.0	-181.5
31.0	-211

## **Inspection**

<b>Process checks</b>	<b>Passed</b>	<b>Date</b>	<b>Inspector</b>
<i>Radiometric and geometric calibration files available, checked and archived</i>	✓	20100721	REUC
<i>Test flight performed</i>	✓	20100721	REUC
<i>Test flight image data archived</i>	✓	20100721	REUC

### **RCD105 calibration and inspection process specifications**

<b>Process</b>	<b>Document</b>
<i>RCD105 Radiometric calibration procedure</i>	764309
<i>RCD105 Geometric calibration procedure</i>	764310
<i>RCD105 Flight test procedure</i>	764311

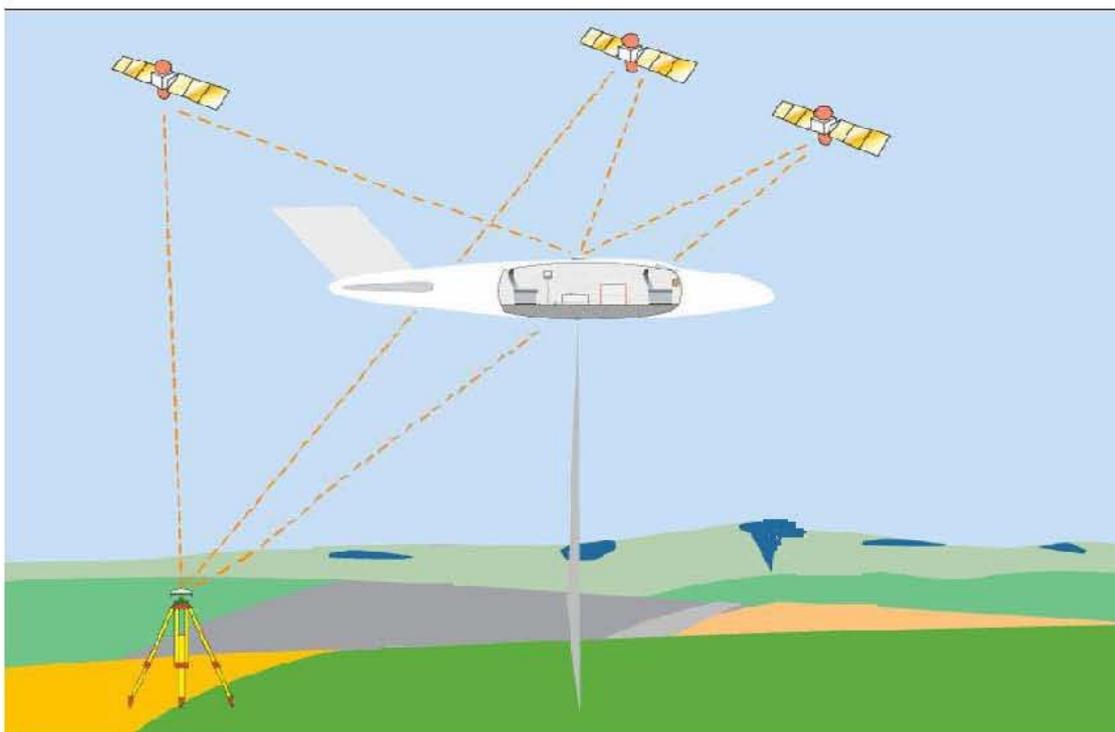


**ANEXO V - CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE PERFILAMENTO  
ALS 60**

---

---

# ALS Calibration Certificate



*This certificate is valid for*

*Model*  
**ALS60**

*Serial Number*  
**SN6136**

*Calibration certificate issued on*  
*by*

**04 Nov 2009**  
**Junyu Mao**

*Certificate and calibration data ID*

**SN6136 Cal Report 20091104**

Leica Geosystems AG  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg  
Switzerland



## Components of ALS

Component	Device	Type	Serial Number
LS60	Laser Scanner		6136
IPAS	INS System (fw v2.12Build3)	10	1319
IMU	Inertial Measurement unit	CUS6-"uIRS"	56022897
DL60	Data Logger	XP embedded	6136
GC60	Galvo Controller	"ALS_60" performance	6136
SC60	System Controller		6136

## Calibration process

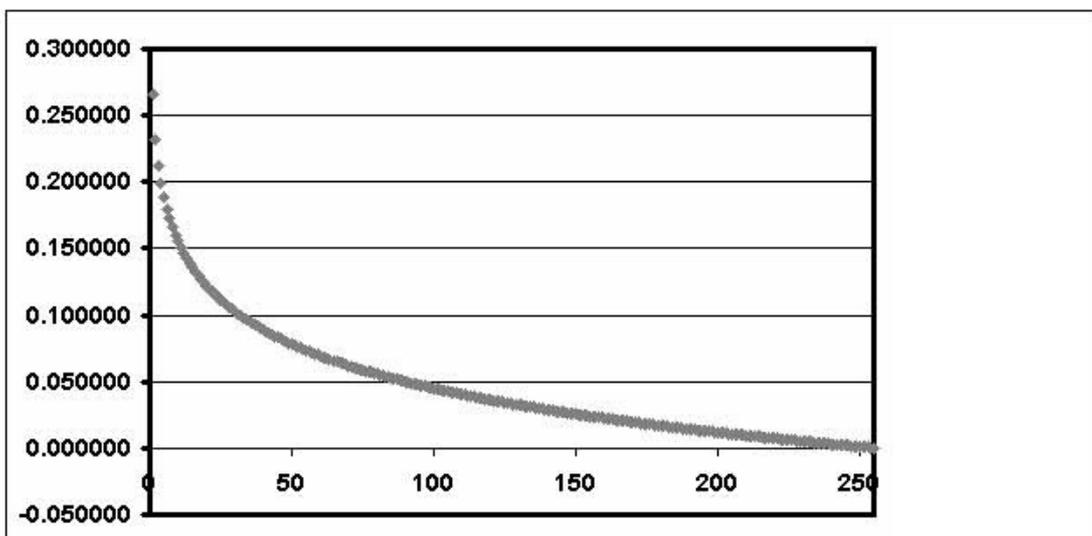
### Intensity based range correction (IBRC)

	Passed	Date	Inspector
<i>RIVIT (raw IBRC) measurements</i>	ok	16-Sep-09	Production
<i>IBRC table</i>	ok	16-Sep-09	Junyu Mao

File **SN136\_IBRC-20090916.txt**

Objective To correct for the effect of varying range based on return signal strength.

Note The range biases are in meters. The bias values derived from test data above and below the TPR are for intensity values of 0 (low intensity) to 255 (high intensity) in that order. Use above file in ALSPP for IBRC correction.



*Intensity based range correction (IBRC) - curve*

***Flight and data processing***

	Passed	Date	Inspector
<i>Test flight</i>	<i>ok</i>	<i>15 Oct 09</i>	Phung Nguyen
<i>Data Quality Check</i>	<i>ok</i>	<i>02 Nov 09</i>	Junyu Mao
<i>(Boresight) Calibration</i>	<i>ok</i>	<i>04 Nov 09</i>	Junyu Mao

File **SN6136\_FactoryCalibration\_20091104.reg**  
 Objective To correct for systematic effects of this ALS System.  
 Validation A complete "on-site" calibration should be performed *after system delivery* to verify factory calibration and establish a final set of correction parameters.

***IPAS Processing - TracGUI Sensor Control Operation***

<b><i>Parameter [Units]</i></b>	<b><i>Value</i></b>
<i>IMU Type</i>	CUS6-"uIRS"
<i>IMU Lever Arm X [m]</i>	-0.450
<i>IMU Lever Arm Y [m]</i>	0.159
<i>IMU Lever Arm Z [m]</i>	-0.169
<i>Omega Rotation Angle</i>	0.00000
<i>Phi Rotation Angle</i>	-90.00000
<i>Kappa Rotation Angle</i>	90.00000
<i>User Frame Lever Arm X [m]</i>	-0.167
<i>User Frame Lever Arm Y [m]</i>	0.001
<i>User Frame Lever Arm Z [m]</i>	-0.175
<i>IPAS Pro IMU latency [sec]</i>	0
<i>Test Airplane – Pilatus HB-FKL</i>	
<i>GPS Lever Arm X [m]</i>	-0.133
<i>GPS Lever Arm Y [m]</i>	-0.016
<i>GPS Lever Arm Z [m]</i>	-1.136

**ALS Calibration Summary – Key Parameters for use in the ALS Post Processor**

<b>Parameter [Units]</b>	<b>Value</b>
<i>Encoder Scale Factor [encoder counts per revolution]</i>	8388608
<i>Encoder Offset, "Scan Angle Correct" [encoder counts]</i>	-58350
<i>Roll [rad]</i>	-0.00317662
<i>Pitch [rad]</i>	0.001479042
<i>Heading [rad]</i>	-0.00111126
<i>Pitch Error Slope [rad/deg]</i>	6.917e-006
<i>Torsion Constant [Nm/rad]</i>	-200000
<i>Nominal Range Offset [m]</i>	-4.209
<i>R1 [m] BankA / BankB</i>	-4.209 / -4.189
<i>R2 [m] BankA / BankB</i>	-4.212 / -4.196
<i>R3 [m] BankA / BankB</i>	-4.209 / -4.212
<i>R4 [m] BankA / BankB</i>	-4.285 / -4.191
<i>TPR [Hz]</i>	100000
<i>TPR Offset [m]</i>	-0.022
<i>Elevation Offset [m]</i>	0.000
<i>PPS Correction [ms]</i>	0
<i>Encoder Latency [ms]</i>	0.2
<i>IMU Latency [ms]</i>	0

**Accuracy Check**

	<b>Value</b>	<b>Std Dev</b>	<b>Inspector</b>
<i>Avg dz to Control. Hbgg Test Site. Two flight lines at AGL 1250m. ALS_GCP-Spider-UTMz32-WGS84.txt 127 check points (1 outlier removed)</i>	<i>-0.0015</i>	<i>0.0283</i>	Junyu Mao
<i>Shot to Shot noise check (Line 140807 @ 1250m AGL)</i>	<i>ok</i>	<i>0.041</i>	Junyu Mao
<i>Summary Calibration check</i>	<i>ok</i>		Junyu Mao

**Nominal Laser Characteristics**

	<b>Value</b>
<i>Beam diameter (1/e and 1/e<sup>2</sup>, mm)</i>	<i>5.6, 8.0</i>
<i>Beam divergence (1/e and 1/e<sup>2</sup>, mr)</i>	<i>0.15, 0.22</i>
<i>Pulse width (maximum, Full Width Half Max, ns)</i>	<i>9</i>
<i>Maximum single-pulse energy (mJ)</i>	<i>0.2</i>
<i>Emitted wavelength (nm)</i>	<i>1064</i>

**Inspection**

**Inspectors**

<i>Name</i>	<b>Junyu Mao</b>
<i>Position</i>	Airborne Systems Support Engineer
<i>Name</i>	<b>Bernhard Riedl</b>
<i>Position</i>	Production Manager - Hardware



---

---

## **ANEXO VI - RELATÓRIO DIÁRIO DE VOO**



