

**MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO (MP)
SECRETARIA DO PATRIMÔNIO DA UNIÃO (SPU)**

**METODOLOGIA DE CONVERSÃO DE
DADOS GEOESPACIAIS DA SPU
(CAPÍTULO GEORREFERENCIAMENTO)**

(Versão 2.0 – Outubro 2017)

HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES		
Data	Versão	Descrição
Agosto 2015	1.0	Elaboração da 1ª versão
Outubro 2017	2.0	Elaboração da 2ª versão

ELABORAÇÃO (PARTICIPANTES)	ESPECIALIZAÇÃO
Roberto Penido Duque Estrada	Engenheiro Cartógrafo
Tarcísio Petter Luiz Franco	Engenheiro Agrimensor

Sumário

I – Introdução	4
II – Objetivo	4
III - Georreferenciamento	4
1. Introdução	4
2. Diretório de Armazenamento	5
3. Pessoal.....	6
4. Preparo	6
5. Parâmetros do Georreferenciamento.....	7
5.1 Transformação Geométrica e Reamostragem	7
5.2 Pontos de Controle	9
5.3 RMS – Pontos de Controle.....	11
5.4 Pontos de Verificação	14
5.5 RMS – Pontos de Verificação	15
6. Edição Matricial	17
7. Revisão.....	17
8. Relatório.....	17
IV - Referências Bibliográficas.....	20

I – Introdução

A Metodologia de Conversão de Dados Geoespaciais da SPU prevê as seguintes fases:

- a. Digitalização Matricial;
- b. Georreferenciamento;
- c. Digitalização Vetorial (Vetorização);
- d. Validação Topológica; e
- e. Edição.

O presente capítulo da Metodologia de Conversão de Dados Geoespaciais da SPU aborda a segunda fase da conversão de dados geoespaciais: Georreferenciamento.

II – Objetivo

Descrever os procedimentos necessários ao georreferenciamento de arquivos digitais matriciais gerados na digitalização matricial (*scanner*) de produtos analógicos geoespaciais da SPU.

III - Georreferenciamento

1. Introdução

A imagem (matriz) gerada na digitalização matricial de um produto analógico geoespacial possui coordenadas relacionadas à matriz formada por linhas e colunas, cujas interseções definem as posições dos *pixels* da matriz, por meio de suas coordenadas matriciais (X_P – Coluna, Y_P – Linha). Ressalta-se a importância de uma correta digitalização matricial, para que não ocorram distorções na geometria interna da imagem e, conseqüentemente, erros nas coordenadas matriciais.

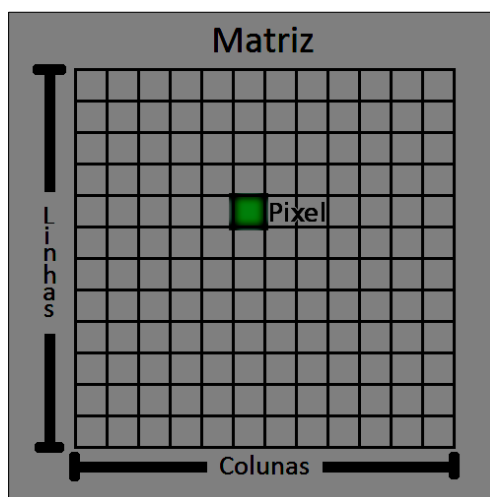


Figura 1: Imagem (Matriz)

Fonte (adaptado): http://docs.qgis.org/2.0/pt_BR/_images/raster_dataset.png

O georreferenciamento é um procedimento, realizado, normalmente, em um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que visa posicionar corretamente a imagem do arquivo digital matricial em relação ao espaço geográfico, tornando suas coordenadas relacionadas a um *datum* e projeção conhecidos. Para tal, deve ser definida a transformação matemática entre o sistema de coordenadas da imagem e o sistema de coordenadas do produto analógico geoespacial, possibilitando a leitura das coordenadas georreferenciadas dos *pixels* da imagem.

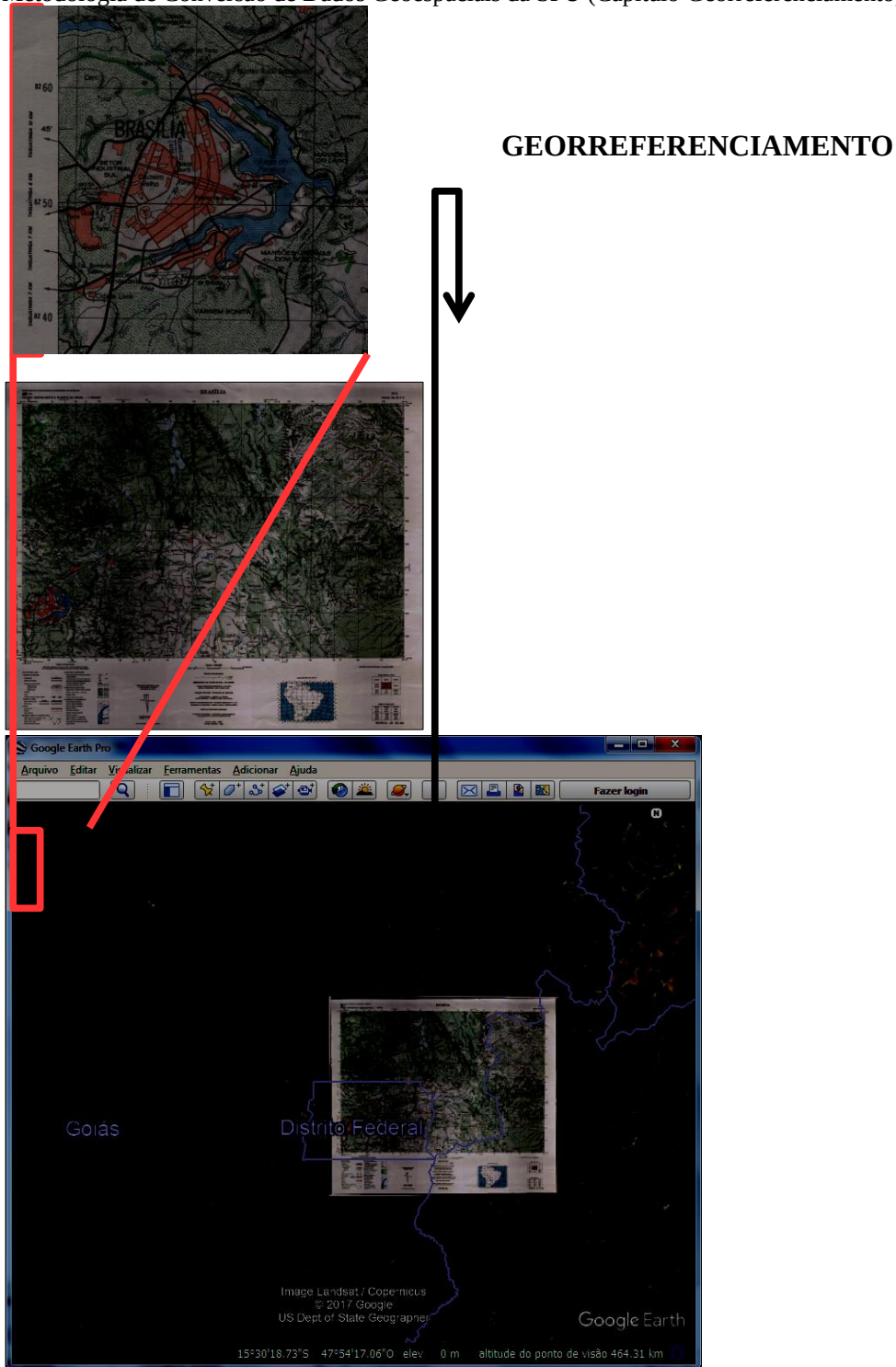


Figura 2: Georreferenciamento de Imagem de Produto Analógico Geoespacial

Fonte: Carta Topográfica Brasília (SD-23-Y-C) 1:250.000 do IBGE

Fonte: Google Earth

A presente metodologia pressupõe:

- A existência de uma moldura e um *grid/canevá* de coordenadas planas/projetivas no produto analógico geoespacial, cujo sistema de coordenadas esteja relacionado a um *datum* e projeção conhecidos; e
- A digitalização matricial do produto analógico geoespacial aprovada, conforme informação constante do relatório de digitalização matricial.

2. Diretório de Armazenamento

Para o armazenamento dos arquivos digitais relacionados ao georreferenciamento da imagem gerada na digitalização matricial do produto analógico geoespacial, deve ser criado no computador, dentro da pasta “Matricial”, da estrutura padrão de diretórios da SPU, o seguinte diretório:

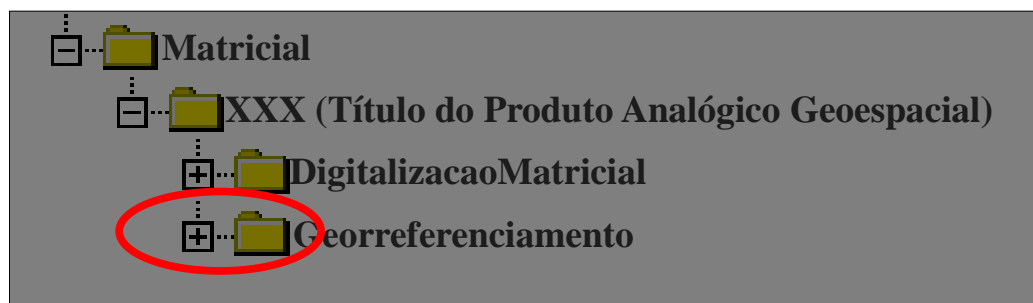


Figura 3: Diretório de Armazenamento

Os seguintes arquivos devem ser colocados na pasta “Georreferenciamento”:

- Imagem a ser georreferenciada destinada ao preparo;
- Imagem georreferenciada;
- Imagem georreferenciada recortada das informações adicionais;
- Arquivo de pontos de controle (gerado pelo *software* utilizado no georreferenciamento);
- Arquivo de pontos de verificação (gerado pelo *software* utilizado no georreferenciamento);
- Planilha “Georreferenciamento – Cálculos”; e
- Relatório do georreferenciamento.

Os nomes dos arquivos colocados na pasta “Georreferenciamento” devem ser iguais ao nome da pasta “XXX (Título do Produto Analógico Geoespacial)”, cujo nome corresponde ao campo “Título do Produto de CDG” da catalogação dos metadados do produto analógico geoespacial (os nomes dos arquivos da imagem destinada ao preparo e da imagem georreferenciada recortada das informações adicionais devem ser acrescidos no final de “_Preparo” e “_Recorte”, respectivamente).

O referido diretório deve ser criado também em outro local (computador/rede/mídia móvel), para fins de armazenamento de cópia de segurança (*backup*) dos arquivos digitais. O local do *backup* deve ser informado no relatório anexo.

3. Pessoal

A equipe para a fase de Georreferenciamento deve ser composta por:

Qde	Formação Desejável	Atividade	Atribuição
01	Eng ^o Cartógrafo / Eng ^o Agrimensor	Supervisão ⁽¹⁾	Supervisionar as atividades da fase de Georreferenciamento (responsável técnico)
01	Técnico em Geoprocessamento	Preparo ⁽²⁾	Preparar a imagem a ser georreferenciada
01	Técnico em Geoprocessamento	Georreferenciamento	Georreferenciar a imagem de acordo com o preparo
01	Técnico em Geoprocessamento	Revisão ⁽²⁾	Revisar o georreferenciamento e consolidar o relatório

Observações:

- (1): A atividade de supervisão pode ser realizada pelo mesmo profissional responsável pela supervisão das demais fases da conversão de dados geoespaciais da SPU (Digitalização Matricial, Digitalização Vetorial (Vetorização), Validação Topológica e Edição); e
- (2): As atividades de preparo e revisão podem ser realizadas pelo mesmo profissional, o qual deve ser experiente na fase de Georreferenciamento.

4. Preparo

O preparo do georreferenciamento deve ser realizado por técnico diferente do responsável pela atividade do georreferenciamento e tem por objetivo identificar previamente os pontos de controle e de verificação, conforme o previsto nos itens 5.2 e 5.4.

A imagem destinada ao preparo deve ser uma cópia da imagem gerada na digitalização matricial do produto analógico geoespacial, degradada para a resolução de 300 dpi e convertida para o formato "Joint Photographic Experts Group" (JPEG).

A identificação prévia dos pontos de controle e de verificação na imagem destinada ao preparo (diferente da imagem a ser georreferenciada) deve ser realizada em um *software* com ferramentas de edição matricial, assinalando-se os cruzamentos do *grid/canevá* na imagem correspondentes aos pontos de controle com um círculo e número na cor vermelha e aos pontos de verificação com um círculo e número na cor verde, conforme as Figuras 6, 7 e 9. Os pontos de controle devem ser identificados antes dos pontos de verificação.

A posterior medição dos pontos de controle e de verificação na imagem a ser georreferenciada deverá ser realizada, pelo técnico responsável pela atividade do georreferenciamento, de acordo com o preparo.

5. Parâmetros do Georreferenciamento

5.1 Transformação Geométrica e Reamostragem

De uma maneira geral, o processo de georreferenciamento ou de registro de uma imagem compreende três grandes etapas. Começa-se, na primeira etapa do georreferenciamento, com uma transformação geométrica, também denominada mapeamento direto, que estabelece uma relação entre as coordenadas de imagem (linha e coluna) e as coordenadas no sistema de referência (geográficas ou de projeção). Nesta primeira etapa é que se eliminam as distorções existentes na imagem e se define o espaço geográfico a ser ocupado pela imagem georreferenciada.

As transformações geométricas se dividem em:

- **ortogonal:** executa uma rotação e duas translações, cada uma correspondente a um dos eixos de um sistema de coordenadas planas. A determinação de seus 03 (três) parâmetros requer uma quantidade mínima de 02 (dois) pontos de controle;
- **similaridade:** também conhecida como transformação isogonal, executa um fator de escala global, uma rotação e duas translações. A determinação de seus 04 (quatro) parâmetros também requer uma quantidade mínima de 02 (dois) pontos de controle;
- **afim ortogonal:** executa dois fatores de escala, cada um ao longo da direção de um dos eixos de um sistema de coordenadas planas, uma rotação e duas translações. A determinação de seus 05 (cinco) parâmetros requer uma quantidade mínima de 03 (três) pontos de controle;
- **afim:** executa dois fatores de escala, uma rotação, duas translações e uma rotação residual, que é responsável pela quebra da ortogonalidade. A transformação afim corresponde a um polinômio do 1º grau e a determinação de seus 06 (seis) parâmetros também requer uma quantidade mínima de 03 (três) pontos de controle; e

- **transformações polinomiais:** executam dois fatores de escala, uma rotação, duas translações, uma rotação residual e quebra de paralelismo. As transformações polinomiais correspondem a um polinômio do 2º grau em diante e a determinação de seus mais de 06 (seis) parâmetros requer uma quantidade mínima de pontos de controle (Npc) que depende do grau do polinômio (n), conforme a fórmula $Npc = [(n+1)(n+2)]/2$. A determinação dos 12 (doze) parâmetros do polinômio do 2º grau, por exemplo, requer uma quantidade mínima de 06 (seis) pontos de controle.

A Figura 4 ilustra as mencionadas transformações geométricas.

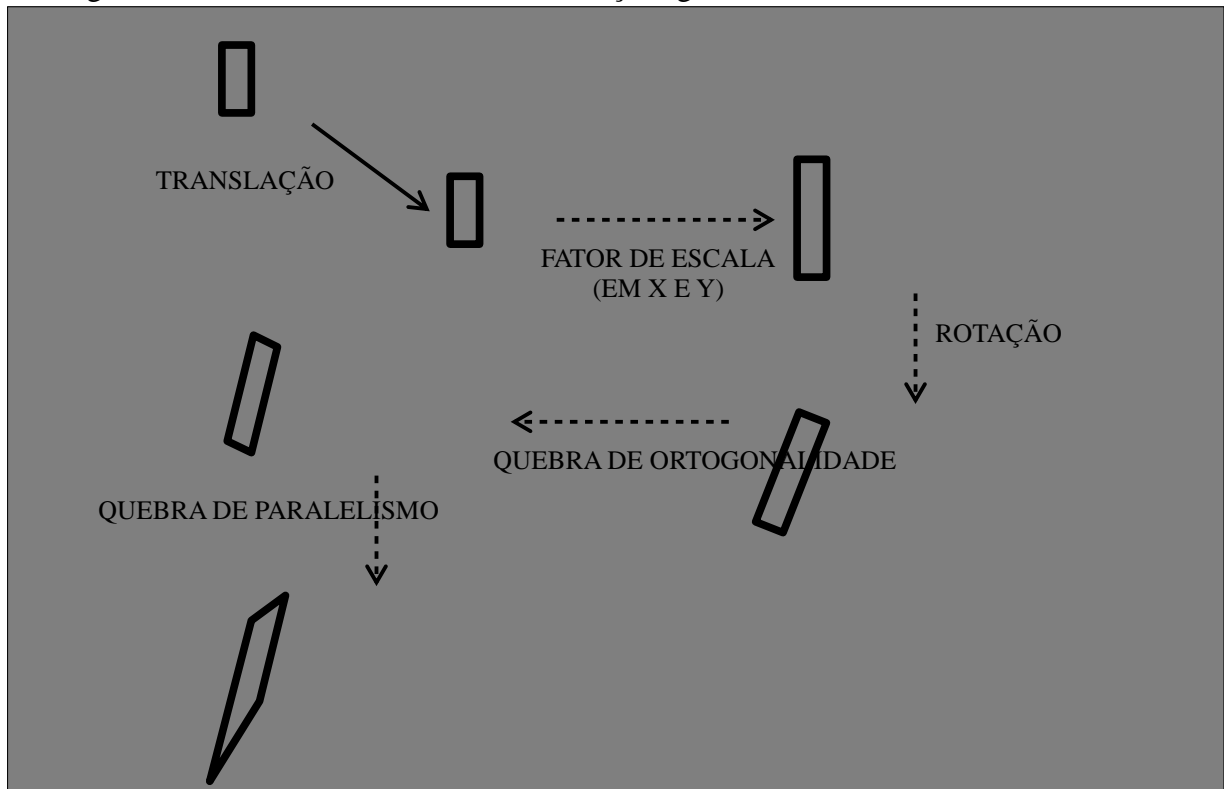


Figura 4: Transformações Geométricas

Fonte (adaptado): <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>

A quantidade mínima de pontos de controle, os quais possuem simultaneamente coordenadas de imagem (linha e coluna) e coordenadas no sistema de referência (geográficas ou de projeção), representa a situação de um sistema de equações determinado, no qual a quantidade de equações coincide com a quantidade de incógnitas a calcular (quantidade de parâmetros do polinômio). Entretanto, como as coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, convém usar uma quantidade de pontos maior que o mínimo. Nesse caso, trabalha-se com um sistema de equações sobre-determinado, que tem mais equações que incógnitas e permite tratar e distribuir os erros de medição dos pontos de controle.

Na segunda etapa do georreferenciamento faz-se o mapeamento inverso, que inverte a transformação geométrica usada no mapeamento direto, permitindo que se retorne à imagem original para que se definam os níveis de cinza que comporão a imagem georreferenciada. Esta definição de níveis de cinza ocorre na última etapa, chamada de reamostragem, que nada mais é que uma interpolação sobre os valores de níveis de cinza da imagem original para definir os valores de nível de cinza que comporão a imagem georreferenciada.

Os métodos mais tradicionais de reamostragem são:

- **vizinho mais próximo:** usa o nível de cinza mais próximo ao resultado do mapeamento inverso;
- **bilinear:** usa 03 (três) interpolações lineares sobre os 04 (quatro) pixels que cercam o

resultado do mapeamento inverso, 02 (duas) ao longo das linhas e 01 (uma) na direção das colunas;

- **convolução cúbica:** usa 05 (cinco) interpolações polinomiais do terceiro grau sobre os 16 (dezesesseis) pixels que cercam o resultado do mapeamento inverso, 04 (quatro) ao longo das linhas e a quinta na direção das colunas.

Conforme o exemplo da Figura 5, a imagem original encontra-se com seu *grid* de *pixels* em vermelho-escuro. Já a nova imagem (georreferenciada) encontra-se representada através do *grid* de *pixels* em azul-marinho sobreposto. Neste exemplo, vê-se que o *pixel* destacado na imagem original (coluna 430, linha 289) deve influenciar radiometricamente ao menos outros 04 (quatro) *pixels* da imagem georreferenciada (colunas 427 e 428 e linhas 288 e 289). A reamostragem, neste caso, faz-se necessária para que os novos pixels tenham a cor que deveriam ter por estarem em tal posição.

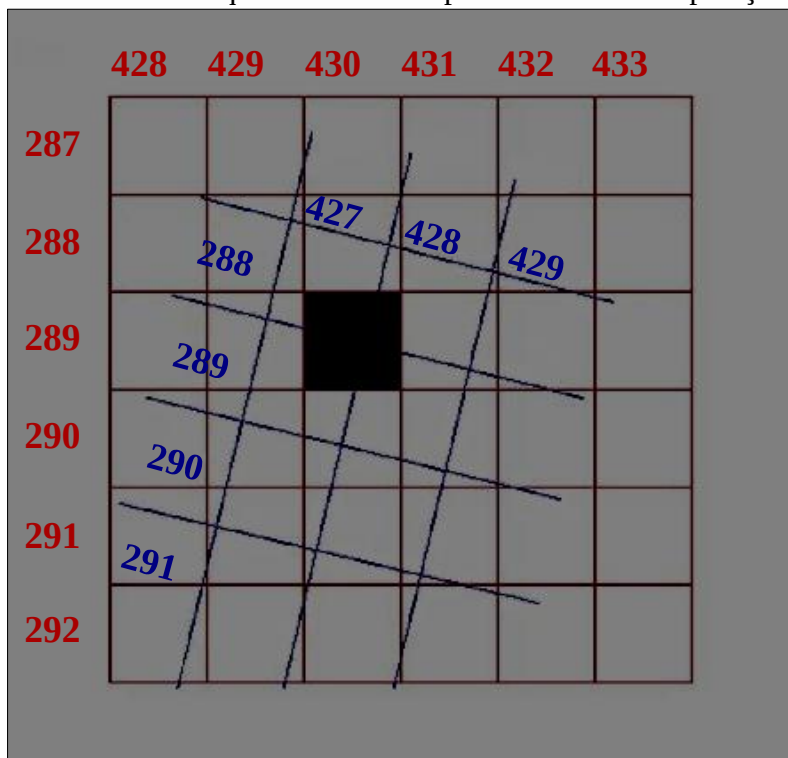


Figura 5: Reamostragem

Fonte (adaptado): <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/imagem32.JPG>

No georreferenciamento da imagem gerada na digitalização do produto analógico geoespacial, devem ser usadas:

- as transformações geométricas correspondentes aos polinômios do 1º grau ou do 2º grau; e
- o método de reamostragem “vizinho mais próximo”.

5.2 Pontos de Controle

A qualidade do georreferenciamento por meio das transformações geométricas correspondentes aos polinômios do 1º grau ou do 2º grau depende, além da precisão das coordenadas dos pontos de controle, de uma boa distribuição dos mesmos na imagem, pois essas transformações geométricas tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle.

Considerando-se a adoção do referido sistema de equações sobre-determinado, ou seja, uma quantidade de pontos de controle maior que a quantidade mínima, devem ser selecionadas no georreferenciamento da imagem as seguintes quantidades de pontos de controle:

- polinômio do 1º grau (afim): 09 (nove) pontos de controle; e

- polinômio do 2º grau: 13 (treze) pontos de controle.

As Figuras 6 e 7 ilustram a quantidade e a distribuição de pontos de controle no *grid/canevá* da imagem, para o polinômio do 1º grau e o polinômio do 2º grau, respectivamente.

Figura 6: Quantidade e Distribuição de Pontos de Controle (Polinômio do 1º grau - Afim)

Figura 7: Quantidade e Distribuição de Pontos de Controle (Polinômio do 2º grau)

Os pontos 1, 3, 5 e 7 nas Figuras 6 e 7 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos dos cantos da moldura.

Os pontos 2, 4, 6 e 8 nas Figuras 6 e 7 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos da moldura (pontos 2 e 6 o mais próximo possível da linha vertical média da largura da moldura e pontos 4 e 8 o mais próximo possível da linha horizontal média do comprimento da moldura).

O ponto 9 nas Figuras 6 e 7 deve ser o ponto o mais próximo possível do centro da moldura (interseção da linha vertical média da largura da moldura e da linha horizontal média do comprimento da moldura).

Os pontos 10, 11, 12 e 13 na Figura 7 devem ser os pontos mais internos e afastados da moldura (pontos 10 e 11 alinhados e o mais próximo possível da meia distância entre a moldura superior e a linha horizontal média do comprimento da moldura e pontos 12 e 13 alinhados e o mais próximo possível da meia distância entre a moldura inferior e a linha horizontal média do comprimento da moldura).

Para o georreferenciamento da imagem, primeiro deve ser realizado o georreferenciamento com 09 (nove) pontos (polinômio do 1º grau – afim) e, posteriormente, deve ser realizado o georreferenciamento com 13 (treze) pontos (polinômio do 2º grau), observando-se que os 09 (nove) primeiros pontos são os mesmos do georreferenciamento com o polinômio do 1º grau.

Caso não seja possível selecionar as mencionadas quantidades de pontos de controle no *grid/canevá* da imagem, deve ser selecionada a maior quantidade possível de pontos observando que para o georreferenciamento com polinômio do 1º grau (afim), a quantidade mínima de pontos de controle é 03 (três) e para o georreferenciamento com polinômio do 2º grau, a quantidade mínima de pontos de controle é 06 (seis). Nesse caso deve ser mantido o critério de uma boa distribuição dos pontos na imagem, adaptando-se a quantidade e a distribuição dos pontos apresentadas nas Figuras 6 e 7.

A medição dos pontos de controle nos cruzamentos do *grid/canevá* deve ser realizada com um *zoom* mínimo na imagem que permita selecionar os pontos com a maior precisão possível. O apontamento com o cursor do *mouse*, para a seleção do ponto de controle, deve ser realizado no ponto médio das espessuras das linhas horizontal e vertical que se interceptam no cruzamento do *grid/canevá*.

O *zoom* mínimo na imagem para a seleção dos pontos de controle é atingido, normalmente, quando se torna possível ver os *pixels* da imagem, permitindo contar os *pixels* e identificar o mais ao centro. No exemplo da Figura 8 (*zoom* na escala 1:10), no cruzamento do *grid/canevá* podem ser contados 12 linhas x 9 colunas, o que permite identificar o píxel central entre as linhas 6 e 7 e no centro da coluna 5.

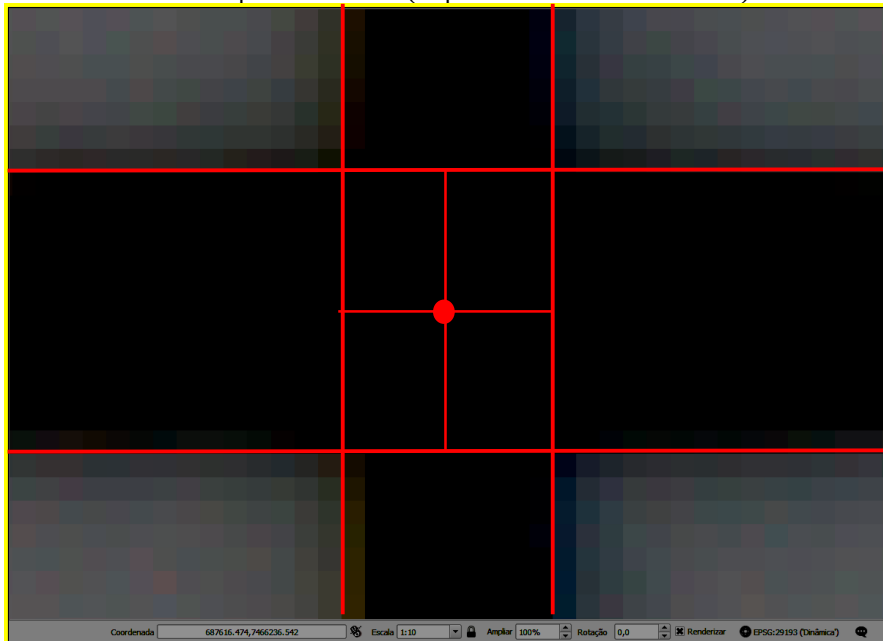


Figura 8: *Zoom* Mínimo na Imagem (Seleção dos Pontos de Controle)

A qualidade da medição dos pontos de controle na imagem influi diretamente na qualidade do georreferenciamento dada pelo parâmetro RMS dos pontos de controle.

5.3 RMS – Pontos de Controle

O RMS, sigla em inglês de *root mean square* (erro médio quadrático), é o parâmetro relacionado à qualidade do georreferenciamento e significa a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores dos resíduos dos pontos de controle.

Para a verificação da qualidade do georreferenciamento, dada pelo RMS dos pontos de controle, primeiro devem ser analisados os resíduos dos mesmos, cujos valores não podem ultrapassar 1,5 vezes o valor do RMS. Caso o resíduo ultrapasse o referido limite, o ponto de controle deve ser remedido refinando-se a posição do ponto na imagem e após novo processamento e cálculo do RMS, caso o resíduo continue ultrapassando o referido limite, o ponto de controle deve ser descartado, escolhendo-se, se possível, outro ponto na imagem próximo à localização do ponto descartado.

No georreferenciamento da imagem gerada na digitalização do produto analógico geoespacial, o RMS final (doravante chamado de RMS) é o menor valor dentre os valores de RMS obtidos com o georreferenciamento com 09 (nove) pontos (polinômio do 1º grau – afim) e o georreferenciamento com 13 (treze) pontos (polinômio do 2º grau).

Para o cálculo de tolerância para o RMS, são calculados 02 (dois) valores de tolerância, cuja definição para os valores está baseada na Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV-Defesa F Ter), 2ª Edição-2016, que estabelece, no Capítulo III, que um produto analógico, quando convertido para o meio digital vetorial, agregará erros que podem implicar na degradação da classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Portanto, o PEC-PCD, definido para as diferentes escalas no Quadro 1 da ET-ADGV-Defesa F Ter (Figura 9), para um produto digital vetorial obtido de um produto analógico, em função dos erros oriundos do processo de digitalização vetorial (vetorização), acrescidos daqueles advindos do produto analógico original, de tal forma que somente ter-se-á PEC-PCD até as classes “C” ou “D” para um produto digital vetorial obtido de um produto analógico que tenha PEC classes “A” ou “B”, respectivamente. Os valores do PEC para as classes “A” e “B” e do PEC-PCD para as classes “C” e “D” são usados no cálculo dos referidos valores de tolerância para o RMS.

- Erro oriundo da resolução geométrica do *scanner* (E_{scan}). Um *scanner* de grande formato (A0) de custo e qualidade aceitável tem precisão geométrica de $0,1\% \pm 1$ pixel entre os dois pontos mais externos da linha de digitalização do *scanner*. A precisão do *scanner* varia aumentando ao longo da linha de digitalização, dos pontos mais externos para o centro da linha, pois os pixels tendem a ser mais elípticos nas bordas externas da lente do *scanner* e mais redondos no meio da lente, sendo essa anomalia conhecida como erro de lente esférica (lente localizada entre a posição de digitalização do documento e a câmera CCD). O erro de deslocamento para cada ponto mais externo da linha de digitalização, entretanto, é a metade do valor da precisão geométrica do scanner. O E_{scan} em metros de um scanner de grande formato é, portanto, $((0,1/100)*L)/2 * D$, sendo “L” a largura da linha de digitalização e “D” o denominador da escala do produto analógico geoespacial (o ± 1 pixel acaba sendo descartado, em função da média calculada entre os valores $((0,1/100)*L)/2 * D + 1$ pixel e $((0,1/100)*L)/2 * D - 1$ pixel). Adotou-se nesta metodologia a média calculada entre os valores da tolerância para o RMS relativos às larguras máximas de linha de digitalização correspondente à maior dimensão A0 (1.189 mm), mínima de linha de digitalização de 500 mm e intermediária de linha de digitalização de 845 mm, em cujas últimas larguras adotou-se também a mesma porcentagem 0,1% (teoricamente a porcentagem varia inversamente proporcional à variação da precisão, entretanto não existe essa informação disponível nas especificações técnicas dos *scanners*). As referidas larguras foram adotadas no cálculo considerando-se que as larguras dos produtos analógicos geoespaciais a serem digitalizados estarão, na média, dentro dos referidos limites;
- Erro de georreferenciamento da imagem (E_{geo}); e
- Erro da digitalização vetorial (E_{vet}). Para fins desta metodologia, este erro é considerado nulo, pois a resolução óptica da digitalização vetorial sobre a imagem garante que a digitalização das informações da imagem seja feita internamente aos conjuntos de *pixels* da imagem.

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

Quadro 1 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais

Figura 9: PEC e PEC-PCD
Fonte: ET-ADGV-Defesa F Ter

O descrito acima pode ser traduzido na seguinte fórmula:

$$(PEC-PCD)^2 \geq (PEC)^2 + (E_{scan})^2 + (E_{geo})^2 + (E_{vet})^2$$

Portanto, o erro de georreferenciamento da imagem (E_{geo}) (valor de tolerância para o RMS) é:

$$(E_{geo})^2 \leq (PEC-PCD)^2 - [(PEC)^2 + (E_{scan})^2 + (E_{vet})^2]$$

Substituindo “ E_{scan} ” por “ $((0,1/100)*L)/2 * D$ ” e “ E_{vet} ” por “0” (zero):

$$(E_{geo})^2 \leq (PEC-PCD)^2 - [(PEC)^2 + (((0,1/100)*L)/2 * D)^2]$$

$$E_{geo} \leq \sqrt{\{(PEC-PCD)^2 - [(PEC)^2 + (((0,1/100)*L)/2 * D)^2]\}}$$

Os 02 (dois) valores para E_{geo} , correspondentes a PEC-PCD classes “C” e “D” para um produto

- E_{geo1} (PEC-PCD classe “C” / PEC classe “A”):

$$E_{geo1} \square \sqrt{\{(PEC-PCD_C)^2 - [(PEC_A)^2 + (((0,1/100)*L)/2)*D]^2\}}$$
- E_{geo2} (PEC-PCD classe “D” / PEC classe “B”):

$$E_{geo2} \square \sqrt{\{(PEC-PCD_D)^2 - [(PEC_B)^2 + (((0,1/100)*L)/2)*D]^2\}}$$

Sendo assim, os 02 (dois) valores de tolerância para o RMS (Tol_1 e Tol_2), correspondentes a PEC-PCD classes “C” e “D” para um produto digital vetorial obtido de um produto analógico que tenha PEC classes “A” e “B”, respectivamente, são:

- $Tol_1 = E_{geo1}$ (PEC-PCD classe “C” / PEC classe “A”); e
- $Tol_2 = E_{geo2}$ (PEC-PCD classe “D” / PEC classe “B”).

A tolerância final para o RMS (doravante chamada de tolerância para o RMS) é o menor valor dentre os valores de Tol_1 e Tol_2 .

O cálculo da tolerância para o RMS foi realizado com o auxílio da planilha “Georreferenciamento – Cálculos”, cujo resumo é o seguinte:

	ESCALA							
Tol (metros)	1:1.000	1:2.000	1:5.000	1:10.000	1:25.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000
	0,4	0,7	1,8	3,5	8,8	17,5	35,1	87,7

Caso a tolerância para o RMS não seja atingida, de acordo com os valores previstos na tabela acima, o georreferenciamento deve ser refeito refinando-se as posições dos pontos de controle na imagem e após novo processamento do georreferenciamento, caso o RMS continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento pode ser refeito, a critério do operador, com uma quantidade maior de pontos de controle, particularmente com o processamento do georreferenciamento com polinômio do 2º grau (ex: 17 dezessete pontos de controle) e, caso o RMS continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento não deve mais ser refeito e essa situação deve ser informada no relatório anexo.

A seguir um exemplo de georreferenciamento e cálculo da tolerância, relativos ao georreferenciamento de uma imagem gerada na digitalização matricial de uma carta cadastral:

PRODUTO ANALÓGICO	NOME	FERNANDO DE NORONHA
	ESCALA	1:10.000
PEC _A (metros)		5,00
PEC _B (metros)		8,00
PEC-PCD _C (metros)		8,00

PEC-PCDD (metros)		10,00	
RMS (metros) (polinômio do 1º grau (afim) - 09 pontos de controle)		1,21	X
RMS (metros) (polinômio do 2º grau - 13 pontos de controle)		1,93	RMS (final)
Tol (metros)	CÁLCULO	$E_{geo1} = \sqrt{\{(PEC-PCD_C)^2 - [(PEC_A)^2 + (((0,1/100)*L)/2)*D]^2\}}$ $Tol_1 = E_{geo1}$ $E_{geo2} = \sqrt{\{(PEC-PCD_D)^2 - [(PEC_B)^2 + (((0,1/100)*L)/2)*D]^2\}}$ $Tol_2 = E_{geo2}$ $Tol = \text{Menor Valor (Tol}_1 ; Tol_2)$	
	VALOR	3,5	
ANÁLISE		RMS (final) < Tol	

5.4 Pontos de Verificação

A verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem por meio dos pontos de verificação só deve ser realizada no caso do georreferenciamento ter atingido a tolerância para o RMS dos pontos de controle.

Os pontos de verificação são pontos diferentes dos pontos de controle e são utilizados para a verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem. Assim como os pontos de controle, os pontos de verificação também devem ter uma boa distribuição na imagem, a fim de se verificar a qualidade do georreferenciamento na imagem como um todo.

Para a verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem devem ser selecionados 10 (dez) pontos de verificação, conforme os pontos destacados na cor verde na Figura 10 (pontos de controle destacados na cor vermelha e azul).

Figura 10: Quantidade e Distribuição de Pontos de Verificação (Destacados em Verde)

Os pontos de verificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 na Figura 10 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos da moldura, alinhados e intercalados o mais próximo possível das meias distâncias entre os pontos de controle 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Os pontos de verificação 9 e 10 na Figura 10 devem ser o mais próximo possível da linha horizontal média do comprimento da moldura, alinhados e intercalados o mais próximo possível das meias distâncias entre os pontos de controle 4, 8 e 9.

Caso não seja possível selecionar a mencionada quantidade de pontos de verificação no *grid/canevá* da imagem, deve ser selecionada a maior quantidade possível de pontos. Nesse caso deve ser mantido o critério de uma boa distribuição dos pontos na imagem, adaptando-se a quantidade e a distribuição dos pontos apresentadas na Figura 10.

A medição dos pontos de verificação nos cruzamentos do *grid/canevá* deve ser realizada com o mesmo critério utilizado na medição dos pontos de controle.

A qualidade da medição dos pontos de verificação na imagem influi diretamente na verificação da qualidade do georreferenciamento dada pelo parâmetro RMS dos pontos de verificação.

5.5 RMS – Pontos de Verificação

A tolerância para o RMS dos pontos de verificação é a mesma tolerância para o RMS dos pontos de controle.

Para a verificação da qualidade do georreferenciamento, dada pelo RMS dos pontos de verificação, primeiro devem ser analisados os resíduos dos mesmos, cujos valores não podem ultrapassar 1,5 vezes o valor do RMS. Caso o resíduo ultrapasse o referido limite, o ponto de verificação deve ser remediado refinando-se a posição do ponto na imagem e após novo processamento e cálculo do RMS, caso o resíduo continue ultrapassando o referido limite, o ponto de verificação deve ser descartado, escolhendo-se, se possível, outro ponto na imagem próximo à localização do ponto descartado.

Caso a tolerância para o RMS dos pontos de verificação não seja atingida, o georreferenciamento deve ser refeito, conforme previsto nos itens 5.2 e 5.3, e após novo processamento do georreferenciamento, caso a tolerância para o RMS dos pontos de controle seja atingida e o RMS dos pontos de verificação continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento não deve mais ser refeito e essa situação deve ser informada no relatório anexo.

No caso do georreferenciamento ser realizado em um *software* que não tenha ferramenta de medição dos pontos de verificação e cálculo do respectivo RMS, para a verificação da qualidade do georreferenciamento, dada pelos pontos de verificação, devem ser comparados os valores nominais das coordenadas dos respectivos cruzamentos do *grid/canvã* localizadas próximas à moldura com os valores das coordenadas lidos por apontamento com o cursor do *mouse* na imagem georreferenciada, calculando-se as diferenças de posicionamento planimétrico entre os mesmos (resíduos) e o RMS, com o auxílio da planilha “Georreferenciamento - Cálculos”.

A Figura 11 apresenta um exemplo de comparação dos valores nominais de coordenadas de um ponto de verificação correspondente a um cruzamento do *grid/canvã* de uma carta topográfica na escala 1:1250.000 com os valores das coordenadas lidos por apontamento com o cursor do *mouse* na imagem georreferenciada, cuja diferença de posicionamento planimétrico é de 50 (cinquenta) metros, obtida pelo cálculo demonstrado a seguir:

- Valores nominais das coordenadas:

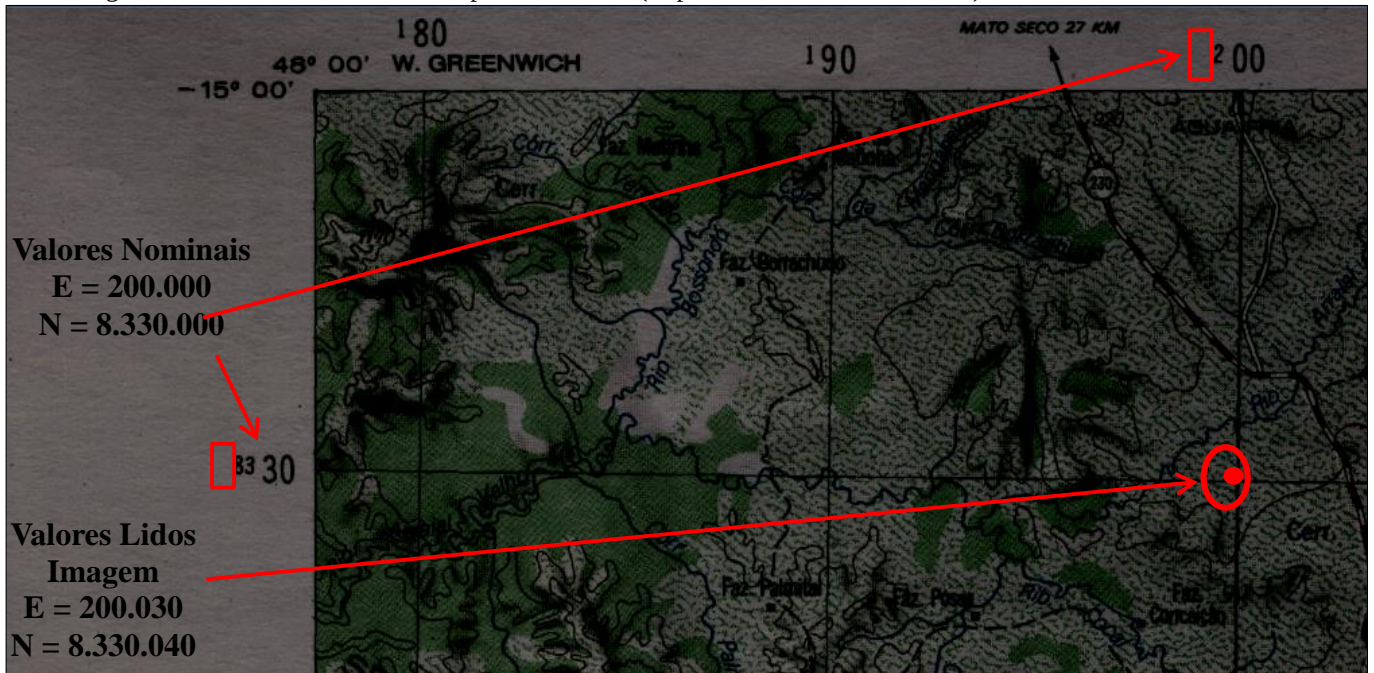
$$E = 200.000 \text{ m e } N = 8.330.000 \text{ m}$$

- Valores lidos das coordenadas:

$$E = 200.030 \text{ m e } N = 8.330.040 \text{ m}$$

- Diferença de posicionamento planimétrico:

$$\sqrt{\{(200.030 - 200.000)^2 + (8.330.040 - 8.330.000)^2\}} = \sqrt{\{(30)^2 + (40)^2\}} = \sqrt{2500} = 50 \text{ m}$$



6. Edição Matricial

O objetivo da edição matricial da imagem gerada na digitalização de um produto analógico geoespacial, na fase do georreferenciamento, é eliminar as informações adicionais do produto analógico geoespacial, como, por exemplo, título, legenda e coordenadas da moldura (geográficas) e do *grid/canevá* (planas/projetivas). Tal edição deve ser realizada somente após a realização do georreferenciamento da imagem. A eliminação de informações adicionais, normalmente, pode ser realizada manualmente, em um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com ferramenta do tipo “extrair/recortar” a partir de um polígono vetorial coincidente com a moldura gerado automaticamente pelo SIG a partir das coordenadas dos cantos da moldura ou de uma máscara definida manualmente sobre a imagem com pelo menos 02 (dois) *pixels* além da moldura.

O ideal é executar os dois procedimentos possíveis, adotando-se o resultado que preservar toda a moldura na imagem recortada com o recorte mais próximo da moldura. Porém, em testes realizados na SPU foram identificados deslocamentos da folha recortada com relação a original.

Comparados os valores deslocados o menor encontrado foi quando se utiliza o recorte por meio de máscara, portanto recomenda-se utilizar a máscara como referência para recortar as imagens georreferenciadas.

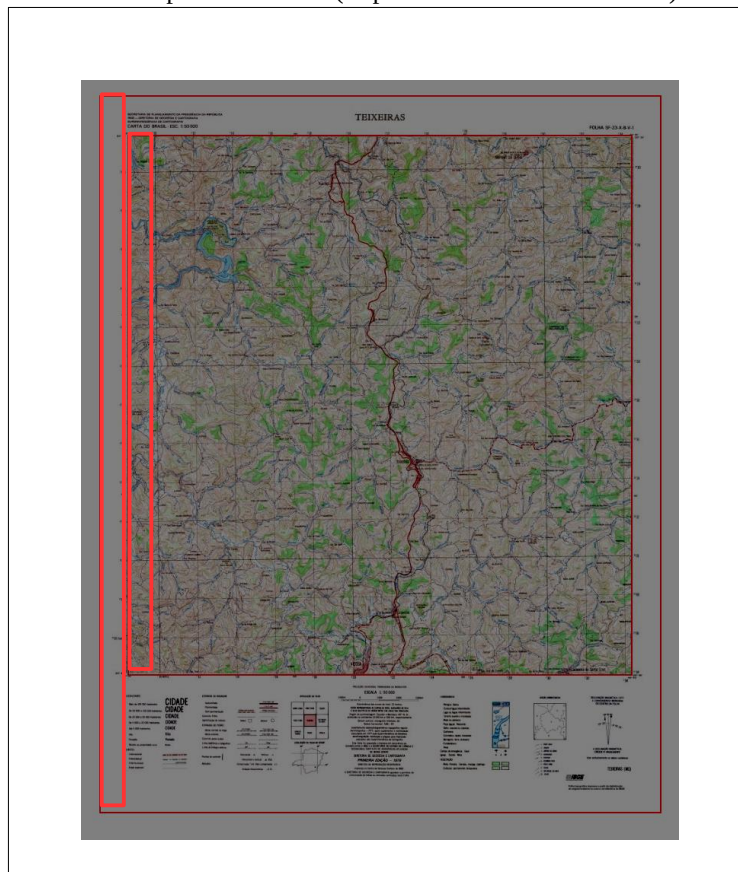


Figura 12: Informações Adicionais da Carta Topográfica (Área Hachurada)

Fonte: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20-%20RJ/SF-23-X-B-V-1.jpg>

7. Revisão

A revisão do georreferenciamento deve ser realizada por técnico diferente do responsável pela atividade do georreferenciamento e tem por objetivo verificar se o mesmo foi realizado com todos os procedimentos previstos nesta metodologia.

A revisão do georreferenciamento deve ser baseada nas informações constantes do relatório anexo.

8. Relatório

Após o georreferenciamento e a edição matricial da imagem, deve ser preenchido o relatório anexo, o qual contém as principais informações relacionadas ao trabalho realizado e os profissionais responsáveis.

RELATÓRIO – GEORREFERENCIAMENTO

INFORMAÇÕES DO PRODUTO ANALÓGICO GEOESPACIAL							
Nome (Título) ⁽¹⁾							
Sistema de Referência	Datum ⁽¹⁾						
	Projeção ⁽¹⁾						
Escala ⁽¹⁾							
Largura (metros) ⁽¹⁾							
INFORMAÇÕES DA DIGITALIZAÇÃO MATRICIAL							
Resolução (dpi) ⁽¹⁾							
Nome do Arquivo (com extensão) ⁽¹⁾							
INFORMAÇÕES DO PREPARO							
Nome do Arquivo (com extensão)							
Observações							
Data de Início	dd/mm/aaaa	Data de Término	dd/mm/aaaa	Tempo de Execução	horas:minutos		
Responsável							
INFORMAÇÕES DO GEORREFERENCIAMENTO							
TOLERÂNCIA - RMS (metros)							
1:1.000	1:2.000	1:5.000	1:10.000	1:25.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000
0,4	0,7	1,8	3,5	8,8	17,5	35,1	87,7
PONTOS DE CONTROLE							
Polinômio do 1º grau (Afim)	Qde de				RMS (metros)		
	RMS ₁						
Polinômio do 2º grau	Qde de				RMS (metros)		
	RMS ₂						
Tolerância – RMS (metros)							
Análise		RMS ≤ Tolerância – RMS ou RMS > Tolerância – RMS					
Observações							
PONTOS DE VERIFICAÇÃO							
Qde de Pontos							
RMS							
Tolerância – RMS (metros)							
Análise		RMS ≤ Tolerância – RMS ou RMS > Tolerância – RMS					

Observações					
Data de Início	dd/mm/aaaa	Data de Término	dd/mm/aaaa	Tempo de Execução	horas:minutos
Responsável					

INFORMAÇÕES DA EDIÇÃO MATRICIAL					
Nome do Arquivo (com extensão)					
Observações					
Data de Início	dd/mm/aaaa	Data de Término	dd/mm/aaaa	Tempo de Execução	horas:minutos
Responsável					
INFORMAÇÕES DA REVISÃO					
Observações					
Data de Início	dd/mm/aaaa	Data de Término	dd/mm/aaaa	Tempo de Execução	horas:minutos
Responsável					
INFORMAÇÕES DO BACKUP (CÓPIA DE SEGURANÇA)					
Local (Computador/Rede/Mídia Móvel)					
Caminho					

Observações:

(1): Informações oriundas do relatório da fase de Digitalização Matricial.

IV - Referências Bibliográficas

- “Manual Técnico de Vetorização - DSG - 1ª Edição – 2016”;
- Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV-Defesa F Ter), 2ª Edição-2016;
- <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>;
- <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/geor.html>;
- <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/aula3.pdf>; e
- https://support.context.com/english/support/support_home/glossary.aspx.