
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA EM IMAGENS ORBITAIS
UTILIZANDO DADOS DE MODELO DE PNT

ANDERSON REIS SOARES



VIRTUS IMPAVIDA

Dissertação de Mestrado

Recife, 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

Anderson Reis Soares

**AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA EM IMAGENS ORBITAIS
UTILIZANDO DADOS DE MODELO DE PNT**

Dissertação de Mestrado

Dissertação de Mestrado apresentado, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida no dia 09/12/2014.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Sapucci

Recife

2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S676a Soares, Anderson Reis.
Avaliação da correção atmosférica em imagens orbitais
utilizando dados de modelo de PNT / Anderson Reis Soares. -
Recife: O Autor, 2014.
115 folhas, il.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Sapucci.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de
Pernambuco. CTG. Programa de Pós- graduação em Ciências
Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.

Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Sensoriamento remoto. 3. Correção
atmosférica. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II.
Sapucci, Luiz Fernando (Coorientador). III. Título.

526.1 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2015-16

**“AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DE IMAGENS ORBITAIS
UTILIZANDO DADOS GERADOS DO MODELO PNT”**

POR

ANDERSON REIS SOARES

Dissertação defendida e aprovada em 09/12/2014.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. JOÃO RODRIGUES TAVARES JUNIOR

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. HAROLDO ANTONIO MARQUES

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. FLÁVIO JORGE PONZONI

Divisão de Sensoriamento Remoto da Coordenadoria de Observação da Terra-INPE

Aos meu Pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luciene e Adalberto, pelo amor, dedicação e apoio incondicional. Agradeço à toda minha família por sempre acreditar no meu potencial, e por torcerem pelo meu sucesso. A minha irmã Elane, que mesmo sem muito contato, sempre me apoia e me incentiva.

Agradeço à Prof. Ana Lúcia Candeias pela orientação, pelos conselhos ao longo dos dois anos de pesquisa, por acreditar no meu trabalho e me dar liberdade para seguir minhas idéias. Muito obrigado por tudo que a senhora me proporcionou, espero poder trabalhar ao seu lado por muito tempo. Muito obrigado!

Ao Prof. Luís Fernando Sapucci pela orientação, apoio e por toda paciência para me explicar sobre a previsão numérica de tempo, sua ajuda foi fundamental, muito obrigado. Agradeço também ao Lucas Avante que me ajudou muito no período que fiquei em Cachoeira Paulista, muito obrigado! Ao professor Haroldo Marques, por ter me ajudado e acreditado no desenvolvimento da pesquisa, e por ter sido a ligação com o professor Sapucci, o que proporcionou o desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e companheiros de mestrado, especialmente Gilmara Carvalho e Emanuel Gomes. Obrigado por me ajudarem nos momentos complicados, por discutirem e avaliarem meu trabalho comigo. Obrigado pelos momentos de descontração, que foram fundamentais para afastar a tensão no desenvolvimento da pesquisa, vocês foram muito importantes. Agradeço também os meus amigos Hélder Gramacho, André Rocha, Ester Ribeiro, Mario Henrique, Elaine Cristina e todos os demais com os quais tive a felicidade de conviver ao longo desses anos.

Aos meus grandes amigos Amanda Florêncio e Sávio Machado, que me acolheram em sua casa nos início do mestrado. Durante os primeiros meses a presença de vocês foi fundamental, para suportar a nova rotina e os problemas que surgiram. Obrigado meus pais pernambucanos!

Agradeço aos meus professores da graduação Marconi Antão e Homero Carvalho, que sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial, e que sempre me ajudam. Muito obrigado!

Agradeço aos professores da Pós-Graduação, especialmente ao Prof. João Rodrigues que ajudou nos momentos iniciais da pesquisa, e a Prof.^a Andréa de Seixas pelas importantes contribuições para o trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida, ao Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação pela infra-estrutura e financiamento participações em eventos.

Ein großes Dankeschön!

“Science is a cooperative enterprise, spanning the generations. It's the passing of a torch from teacher, to student, to teacher. A community of minds reaching back to antiquity and forward to the stars.”

Neil deGrasse Tyson

RESUMO

Grande parte dos algoritmos de correção atmosférica, utilizam a própria imagem (se ela possuir bandas específicas que atuem nas regiões do infravermelho e assim realizar a razão entre bandas) ou modelos atmosféricos, para mitigar os efeitos do vapor d'água sobre as imagens de sensores orbitais. Essa correção permite que a influência da atmosfera seja reduzida, proporcionando uma imagem mais fiel, conseqüentemente, assinaturas espectrais sem interferência da atmosfera. Como não são todos os sistemas sensores que possuem bandas na região do infravermelho, utiliza-se o MODTRAN, onde são recomendados valores para vapor d'água, que levam em conta a posição geográfica da área imageada e a época do ano. Esse valor de vapor d'água atribuído pode apresentar uma grande diferença quando comparada com dados obtidos no momento do imageamento, por isso o objetivo desta dissertação é analisar a correção atmosférica em imagens de Sensoriamento Remoto utilizando vapor d'água integrado obtido por modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT). Foram analisados os resultados nas faixas espectrais do visível: azul, verde e vermelho e na faixa do infravermelho próximo. Nessa pesquisa foi utilizado o algoritmo de correção atmosférica FLAASH, que se baseia no modelo MODTRAN e está implementado no *software* ENVI. As imagens hiperespectrais foram obtidas a partir do "site" da *United States Geological Service*. Os dados de vapor d'água foram extraídos a partir dos arquivos binários gerados pelo modelo de Previsão Numérica de Tempo ETA 15, através do código fonte adaptado do *software* Interpol desenvolvido no CPTEC/INPE. A partir dessa extração, o valor obtido para cada pixel, foi utilizado na correção atmosférica das imagens utilizando o *software* ENVI 5. Os resultados do processamento das imagens utilizando a metodologia proposta foram comparados com os resultados da metodologia tradicional, que utiliza o método de razão entre bandas para o cálculo do vapor d'água. Para validação foram analisadas as assinaturas espectrais de alguns alvos na imagem, como também foram utilizadas algumas técnicas de processamento de imagens. Os resultados demonstraram grande semelhança entre as assinaturas corrigidas utilizando a técnica de razão entre bandas e as obtidas após correção com o Modelo de PNT. Os valores médios das diferenças entre esses métodos não foram superiores a 0,017, ou 1% e os desvios padrão não apresentaram diferenças superiores a 0,077 ou 7%. Para trabalhos futuros sugere-se analisar as respostas espectrais dos dados de campo, para avaliar se a

metodologia proposta oferece uma acurácia maior que a atualmente utilizada em correções atmosféricas.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, vapor d'água, correção atmosférica.

ABSTRACT

Several atmospheric correction algorithms use some bands (if it has specific bands on the infrared regions) or atmospheric models, to mitigate the effects of water vapor over satellite images. The recommended values for water vapor are based on geographical position and the epoch of year. Since not all sensors have bands on the infrared region, the use of this model values are needed, however, this value assigned to the variable may generate an important difference when compared with value of water vapor at moment of the imaging. The purpose of this study is to analyze the atmospheric correction in remote sensing images using integrated water vapor obtained by Numerical Weather Prediction model. For this, the FLAASH atmospheric correction algorithm, which was based on the MODTRAN model, and is implemented on the software ENVI, was used for the atmospheric correction. Hyperspectral images were obtained through the USGS (United States Geological Service) website. The data of water vapor were extracted from the binary files generated by the Numerical Weather Prediction Model ETA 15. For this, was realized an adaptation of the software Interpol developed in CPTEC/INPE, by changing its source code. After it, the values obtained were used for the atmospheric correction of images using the software ENVI. Results of processing the images using the proposed method were compared with the results of the traditional method, which uses the ratio bands for estimate the integrated water vapor. The results showed high similarities between the signatures corrected using the ratio band technique and the obtained using the water vapor data from the prediction model. The mean of the differences between these methods values were not more than 0,017, or 1%, and the standard deviations showed no differences of more than 0,079, or 7%. For future work is suggested to analyze the spectral responses of the field data to assess whether the proposed methodology provides a higher than currently used in atmospheric correction accuracy.

Keywords: Remote Sensing, water vapor, atmospheric correction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ASSINATURA ESPECTRAL OBTIDA A PARTIR DE DIFERENTES VALORES PARA O VAPOR D'ÁGUA.....	23
FIGURA 2 - COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS DO FLAASH E DO ASD.....	23
FIGURA 3 - PROPAGAÇÃO DA ONDA ELETROMAGNÉTICA NA ATMOSFÉRICA.	29
FIGURA 4 - ABSORTÂNCIA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA.....	32
FIGURA 5 - TRANSMITÂNCIA DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA ATRAVÉS DA ATMOSFERA.....	32
FIGURA 6 - CICLO DA ÁGUA.....	33
FIGURA 7 - GRADE E DE ARAKAWA.....	40
FIGURA 8 - IMAGEM DE VAPOR D'ÁGUA OBTIDA GERADA PELO MODELO DE PNT.....	46
FIGURA 9 - ESQUEMA METODOLÓGICO.....	48
FIGURA 10 - FUNÇÃO DE REAMOSTRAGEM PARA O SENSOR OLI.....	52
FIGURA 11 - <i>PIXELS</i> UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS.....	54
FIGURA 12 - IMAGEM DE VAPOR D'ÁGUA OBTIDA PELA TÉCNICA DE RAZÃO ENTRE BANDAS.....	56
FIGURA 13 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 1 (SOLO EXPOSTO ARENOSO).....	58
FIGURA 14 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 2 (TELHA METÁLICA).....	58
FIGURA 15 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 3 (ASFALTO).....	58
FIGURA 16 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 4 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO).....	59
FIGURA 17 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 5 (TELHA METÁLICA).....	59
FIGURA 18 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 6 (ASFALTO).....	59
FIGURA 19 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 7 (TELHA METÁLICA).....	60
FIGURA 20 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 8 (TELHA METÁLICA).....	60
FIGURA 21 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 9 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO).....	60

FIGURA 22 - ASSINATURA ESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 10 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO)	61
FIGURA 23 - DIFERENÇAS MÉDIAS ENTRE AS ASSINATURAS HIPERESPECTRAIS OBTIDAS PELO MÉTODO PROPOSTO E IMAGEM CALIBRADA.....	62
FIGURA 24 - DIFERENÇAS MÉDIAS ENTRE AS ASSINATURAS HIPERESPECTRAIS OBTIDAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E IMAGEM CALIBRADA.....	62
FIGURA 25 - CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS E A IMAGEM CALIBRADA E ENTRE O MÉTODO PROPOSTO E O CONVENCIONAL NA REGIÃO DO AZUL (0,436 – 0,500 μ M)	64
FIGURA 26 - CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS E A IMAGEM CALIBRADA E ENTRE O MÉTODO PROPOSTO E O CONVENCIONAL NA REGIÃO DO VERDE (0,500 – 0,600 μ M)	64
FIGURA 27 - CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS E A IMAGEM CALIBRADA E ENTRE O MÉTODO PROPOSTO E O CONVENCIONAL NA REGIÃO DO VERMELHO (0,600 – 0,750 μ M).....	64
FIGURA 28 - CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS E A IMAGEM CALIBRADA E ENTRE O MÉTODO PROPOSTO E O CONVENCIONAL NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (0,750 – 2.400 μ M)	65
FIGURA 29 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 1 (SOLO EXPOSTO ARENOSO)	67
FIGURA 30 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 2 (TELHA METÁLICA)	67
FIGURA 31 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 3 (ASFALTO).....	67
FIGURA 32 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 4 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO)	68
FIGURA 33 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 5 (TELHA METÁLICA)	68
FIGURA 34 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 6 (ASFALTO).....	68
FIGURA 35 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 7 (TELHA METÁLICA)	69

FIGURA 36 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 8 (TELHA METÁLICA)	69
.....	69
FIGURA 37 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 9 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO)	69
.....	69
FIGURA 38 - ASSINATURA MULTIESPECTRAL DO <i>PIXEL</i> 10 (SOLO EXPOSTO ARGILOSO)	70
.....	70
FIGURA 39 - IMAGENS DE VAPOR D'ÁGUA E RGB DAS CENAS ANALISADAS. A) VAPOR D'ÁGUA IMAGEM 1, B) VAPOR D'ÁGUA IMAGEM 2, C) COMPOSIÇÃO RGB DA IMAGEM 1, D) COMPOSIÇÃO IMAGEM 2.	84
.....	84
FIGURA 40 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 11 (0,457 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	85
.....	85
FIGURA 41 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 12 (0,467 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	86
.....	86
FIGURA 42 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 20 (0,548 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	86
.....	86
FIGURA 43 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 21 (0,559 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	86
.....	86
FIGURA 44 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 22 (0,569 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	87
.....	87
FIGURA 45 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 30 (0,650 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	87
.....	87
FIGURA 46 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 31 (0,660 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	87
.....	87
FIGURA 47 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 32 (0,671 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	88
.....	88
FIGURA 48 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 91 (1,053 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	88
.....	88
FIGURA 49 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 92 (1,063 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	88
.....	88
FIGURA 50 - PERFIL LONGITUDINAL DA BANDA 93 (1,073 μ M) ANTES E APÓS O PROCESSAMENTO UTILIZANDO O FLAASH.	89
.....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. BANDAS DE ABSORÇÃO DA ATMOSFERA TERRESTRE.....	31
TABELA 2. VALORES RECOMENDADOS PARA VAPOR D'ÁGUA.....	37
TABELA 3. RECOMENDAÇÃO DE PERFIL DO MODTRAN EM RELAÇÃO A FAIXA DE LATITUDE E ÉPOCA DO ANO.....	38
TABELA 4. DADOS DAS IMAGENS	45
TABELA 5. DESCRIÇÃO DOS DADOS INSERIDOS PARA O PROCESSAMENTO	49
TABELA 6. TABELA DE SUPERFÍCIES UTILIZADAS.	53
TABELA 7. VALORES INTERPOLADOS PARA O VAPOR D'ÁGUA DOS <i>PIXELS</i> SELECIONADOS.....	53
TABELA 8. VALORES DE VAPOR D'ÁGUA OBTIDOS PELA TÉCNICA DE RAZÃO ENTRE BANDAS E MODELO DE PNT	55
TABELA 9. DIFERENÇAS MÉDIAS ENTRE AS ASSINATURAS HIPERESPECTRAIS OBTIDAS PELOS DOIS MÉTODOS.....	61
TABELA 10. CORRELAÇÃO ENTRE AS ASSINATURAS ESPECTRAIS OBTIDAS ENTRE OS MÉTODOS ANALISADOS.....	63
TABELA 11. P-VALORES OBTIDOS PELO TESTE ANSARI-BRADLEY	65
TABELA 12. VALORES DE ÂNGULO ENTRE AS ASSINATURAS OBTIDAS ENTRE OS DOIS MÉTODOS.	66
TABELA 13. DIFERENÇAS ENTRE AS ASSINATURAS MULTIESPECTRAIS OBTIDAS PELOS DOIS MÉTODOS.....	70
TABELA 14. DADOS DAS IMAGENS.....	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FLAASH	-	<i>Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes</i>
QUAC	-	<i>Quick Atmospheric Correction</i>
MODTRAN	-	<i>Moderate Resolution Atmospheric Transmission</i>
PNT	-	Previsão Numérica de Tempo
JPL	-	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
NASA	-	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ATCOR	-	<i>Atmospheric and Topographic Correction</i>
SAM	-	<i>Spectral Angle Mapper</i>
NED	-	<i>Normalized Euclidean Distance</i>
AVIRIS	-	<i>Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer</i>
MODIS	-	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
GPS	-	<i>Global Positioning System</i>
PWV	-	<i>Precipitable Water Vapor</i>
PPP	-	<i>Posicionamento por Ponto Preciso</i>
IGS	-	<i>International GNSS System</i>
GNSS	-	<i>Global Navigation Satellite System</i>
ATREM	-	<i>Atmosphere Removal</i>
HATCH	-	<i>High-accuracy Atmospheric Correction for Hyperspectral Data</i>
ACORN	-	<i>Atmosphere CORrection Now</i>
CPTEC	-	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
NCEP	-	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
OI	-	<i>Optimal Interpolation</i>
3D-Var	-	<i>Three Dimensional Variational Data Assimilation</i>

4D-Var	-	<i>Four Dimensional Variational Data Assimilation</i>
PSAS	-	<i>Physical-space Statistical Analysis System</i>
ECMWF	-	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
LEO	-	<i>Low Earth Orbit</i>
FIEPE	-	Federação das Indústrias de Pernambuco
USGS	-	<i>United States Geological Survey</i>
EO-1	-	<i>Earth Observing-1</i>
FWHM	-	<i>Full Width At Half Maximum</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Contextualização do Trabalho	21
1.2 Objetivos da Pesquisa	26
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	26
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	26
1.3 Justificativa da Pesquisa	27
1.4 Conteúdo do trabalho	27
2. ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA	29
2.1 Vapor D'água	32
3. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA	35
3.1 Algoritmo FLAASH	36
4. PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO	39
4.1 Introdução	39
4.2 Assimilação de Dados	40
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
5.1 Área de Estudo	44
5.2 Materiais	44
5.2.1 <i>Imagem Hiperespectral</i>	45
5.2.2 <i>Dados De Vapor D'água</i>	45
5.3 Métodos	47

5.3.1 Correção Atmosférica.....	49
5.3.2 Técnicas De Processamento De Imagens	50
5.3.3 Avaliação dos Resultados.....	50
6. RESULTADOS.....	53
6.1 Processamento do Arquivos Binário	53
6.2 Correção atmosférica	55
6.3 Análise das Assinaturas espectrais.....	57
6.4 Simulação de Bandas do Sensor OLI - Landsat-8	66
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	72
7.1 Conclusões	72
7.2 Recomendações	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE	79
APÊNDICE A.....	80
APÊNDICE B.....	83
APÊNDICE C	90
APÊNDICE D	100
APÊNDICE E.....	101
ANEXOS	102
ANEXO A	103
ANEXO B	108

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem contribuído para estudos e mapeamentos da superfície terrestre. A geometria e a radiometria das imagens são aspectos fundamentais para obter mapas temáticos representativos da verdade terrestre. Como exemplo, pode-se citar estudos aquáticos apresentados em Ennes (2008); Kruse (2003); Rudorff (2006); Rudorff (2007); estudos para mapeamento da vegetação vistos em Hadjimitsis, et al. (2010); Hilker et al., (2012); Yu et al. (2011) e também para estudo do ambiente urbano desenvolvidos por Gao et al. (2009); Tyagi e Bhosle (2011); Thomas et al. (2009).

Entretanto, os dados coletados pelo Sensoriamento Remoto sofrem com a perda de qualidade pela atenuação atmosférica, o que torna necessário em muitas análises a realização do processo de correção atmosférica. A atenuação e o espalhamento da radiação eletromagnética, ocorrem durante a passagem da radiação pela atmosfera, antes de atingir a superfície e após sua reflexão até chegar ao sensor imageador. A consequência da atenuação do sinal é a geração de imagens alteradas quanto a radiometria, segundo Kaufman (1989), as interações da radiação eletromagnética podem resultar na mudança da polarização e da direção da onda, podendo assim alterar o valor de radiância registrado no sensor, que dependendo da análise a ser realizada pode provocar um erro significativo, em estudos ambientais e também na geração das cartas temáticas destes estudos.

Em função da geometria do imageamento a atmosfera pode provocar um efeito maior ou menor sobre a imagem. De acordo com Lillesand et al. (2007), em algumas análises, quando a atmosfera não é muito opaca, uma pequena variação do ângulo de visada pode ser desconsiderada, entretanto quando esse meio é muito opaco, a variação na posição do sistema sensor no momento do imageamento pode apresentar consideráveis mudanças na assinatura dos alvos.

Por isso, para realização da correção atmosférica das imagens devem ser consideradas variáveis que envolvem a geometria da visada e a presença de partículas na atmosfera. Essas partículas, constituintes da atmosfera são responsáveis pela atenuação da resposta espectral dos alvos ao longo do espectro eletromagnético, chegando até a impedir completamente sua propagação em alguns trechos.

Os principais constituintes da atmosfera responsáveis por esse fenômeno de atenuação são os aerossóis e o vapor d'água (NOVO, 2010; LILESAND et al., 2007). O vapor d'água é gerado a partir da evapotranspiração, principalmente das plantas e da evaporação da água dos rios, lagos e oceanos.

Os efeitos da presença do vapor d'água na atmosfera e suas influências na vida humana estão intimamente relacionados com as variações da sua distribuição sob a superfície terrestre (SAPUCCI, 2001a). Por isso é de grande importância o comportamento dessa variável no espaço, já que ela pode variar por exemplo, com a época do ano e com a posição geográfica da área imageada (latitude, longitude, altitude, relevo, etc.).

Segundo Zullo Junior (1996), a estimativa do vapor d'água integrado existente na atmosfera é de interesse ao Sensoriamento Remoto devido aos efeitos gerados nas imagens de satélite, sendo ainda mais importante em condições tropicais, como as observadas no Brasil. Contudo a tarefa para mitigação dos efeitos das variáveis atmosféricas não é simples, como relatado por Kaufman e Gao (1992).

Devido ao seu efeito de atenuação da radiação que chega ao sensor, diversos algoritmos foram desenvolvidos para atenuar/eliminar os efeitos provocados pelo vapor d'água e outros constituintes da atmosfera. Dois desses aplicativos estão implementados no *software* comercial ENVI (RSI, 2009) são eles: o aplicativo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) e o *QUick Atmospheric Correction* (QUAC).

O FLAASH (FELDE et al, 2003) é um aplicativo baseado no modelo *Moderate Resolution Atmospheric Transmission* (MODTRAN-4) (ADLER-GOLDEN, et al., 1999) que vem sendo amplamente utilizado para correção de imagens, seja ela multiespectral e hiperespectral. O FLAASH utiliza dados para correção do efeito do vapor d'água nas imagens a partir de duas fontes principais: a própria imagem (se ela possuir bandas específicas que atuem nas regiões do infravermelho) e modelos empíricos que estão presentes nos modelos de correção, que recomendam valores para essa variável, que para isso, levam em conta a posição geográfica da área imageada e a época do ano. Esse valor atribuído a variável pode apresentar grande diferença quando comparada com dados reais no momento do imageamento.

Visando melhorar o resultado da definição espectral dos alvos em imagens que não dispõem de várias bandas na região do infravermelho, e que assim precisam utilizar valores pré-definidos por modelos empíricos, esta pesquisa pretende utilizar dados de vapor d'água obtidos através de modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) para correção de imagens de Sensoriamento Remoto. Desse modo, tem-se o valor calculado para cada imageamento, caso a caso, obtido através das diversas fontes de dados, desde de dados oriundos de estações *Global Navigation Satellite System* (GNSS), como por dados de satélite, que são utilizados para a geração da PNT, e não um valor atribuído a variável do vapor d'água para o MODTRAN e por consequência para o aplicativo FLAASH.

De acordo com Zandonná (2005) a modelagem atmosférica realizada por métodos numéricos, como o PNT, tem como objetivo prever o estado futuro da atmosfera a partir da situação inicial. Para isso, são utilizadas as equações da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O uso do vapor d'água obtido por PNT na correção atmosférica de imagens de Sensoriamento Remoto deve oferecer resultados próximos aos obtidos na técnica de razão entre bandas, além de permitir a possibilidade da criação de modelos de correção atmosférica, que utilizam o produto gerado pelos modelos de PNT.

1.1 Contextualização do Trabalho

O uso do FLAASH para correção de imagens já é conhecido, porém para uso em algumas imagens seu índice de precisão na correção nem sempre foi satisfatório já que para a correção de algumas variáveis como a visibilidade e a quantidade de vapor d'água na atmosfera, o algoritmo perde a precisão por utilizar valores de modelos empíricos, e mesmo na técnica de razão entre bandas, pode apresentar ruídos em determinadas superfícies.

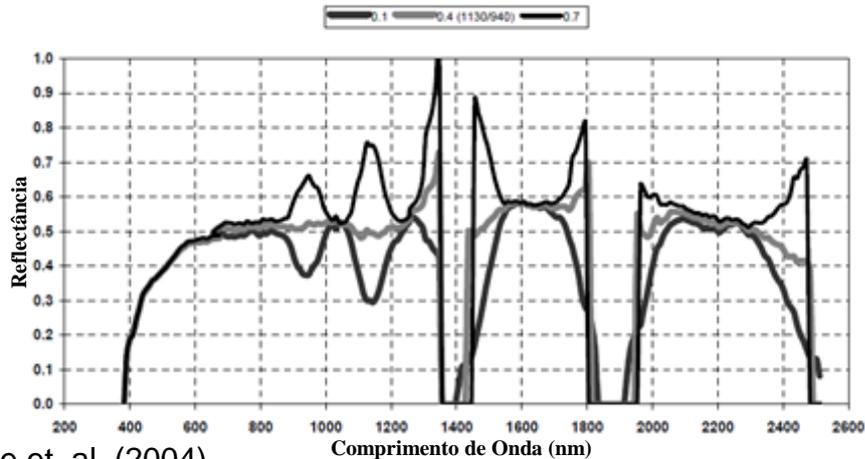
A otimização dos algoritmos de correção atmosférica é uma das principais áreas de pesquisa do Sensoriamento Remoto. De acordo com Gao et al. (2009), desde que o conceito de espectroscopia originado pelo *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foi iniciado, a busca por algoritmos de correção atmosférica mais robustos e eficientes passou a ser uma

constante no Sensoriamento Remoto, e por isso a comparação entre esses algoritmos é algo comum.

Kawishwar (2007) comparou os resultados do FLAASH e a segunda versão do ATCOR, o ATCOR2. Ele comparou subjetivamente, a partir de análise visual das bandas de absorção geradas pelos dois algoritmos, chegando à conclusão de que os dois algoritmos compensaram de forma satisfatória o oxigênio (O₂) e o gás carbônico (CO₂), contudo houve uma subestimação do vapor d'água, quando utilizadas as bandas da região de 940µm, e uma superestimação quando utilizadas a região de 1135µm, quando comparados com dados de radiossondas. Em seguida foi gerada comparação dos espectros obtidos através dos algoritmos *Spectral Angle Mapper* (SAM) e *Normalized Euclidean Distance* (NED). Através da comparação, o FLAASH apresentou resultados melhores que o ATCOR2. Ainda segundo o autor, através da análise do espectro do quartzo, na região de 2,20 µm, não foram obtidos bons resultados, devido à má qualidade da imagem Hyperion na região do infravermelho próximo e aos resíduos do vapor d'água, que não foram corretamente corrigidos.

Felde et al. (2004) comparou as faixas espectrais utilizadas para cômputo do vapor d'água. Nesse estudo foram utilizadas imagens do sensor *Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS) para 3 áreas de estudo em épocas distintas. Os resultados obtidos demonstram o efeito do vapor d'água sobre a assinatura espectral das imagens. A Figura 1, mostra os resultados obtidos com 3 fatores de correção aplicados ao modelo empírico de média latitude de verão do modelo FLAASH. Como pode ser observado o efeito de 0,1, resultou em uma assinatura espectral abaixo da obtida com o valor 0,4, especialmente na região do infravermelho. A partir dos resultados obtidos, os autores recomendam para regiões com quantidades baixas e moderadas de vapor d'água, o uso das faixas de 0,94 µm e 1,135 µm e a faixa de 0,82 µm, para áreas com alta concentração de vapor d'água na atmosfera.

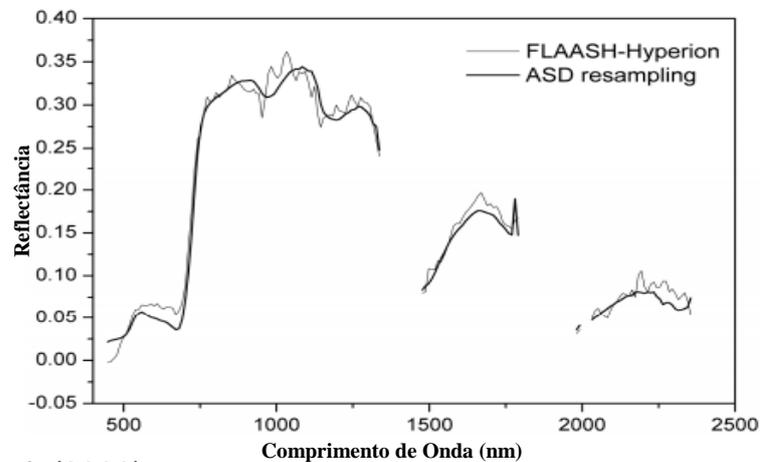
Figura 1 - Assinatura Espectral obtida a partir de diferentes valores para o vapor d'água.



Fonte: Felde et. al. (2004).

Yuan e Niu (2008) analisaram a correção através do FLAASH a partir de imagens dos sensores *Hyperion* e *ALI*. As assinaturas espectrais dos alvos do estudo foram comparadas com o sensor ASD de altíssima resolução espectral. As assinaturas obtidas, Figura 2, com o ASD foram reamostradas para o intervalo de bandas dos sensores. O problema já conhecido da imprecisão do algoritmo na correção de corpos hídricos foi mais uma vez relatado. Os demais espectros apresentaram boas correlações com os espectros coletados pelo ASD. A partir dos resultados fica comprovado a boa qualidade da correção atmosférica realizada pelo algoritmo FLAASH, exceto para corpos hídricos, já que o modelo não consegue corrigir propriamente áreas objetos com características de resposta espectral baixa como é o caso da água.

Figura 2 - Comparação das assinaturas espectrais do FLAASH e do ASD.



Fonte: Yuan et al. (2008).

O uso de dados auxiliares para suprir deficiências nos dados necessários para correção atmosférica não é algo novo. Produtos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) já foram utilizados para obtenção de dados como a presença de CO₂ e do vapor d'água. Ferreira (2011) utilizou o produto do MODIS para o vapor d'água na correção atmosférica de imagens do sensor World View-2, através do algoritmo FLAASH, para criar uma rede neural artificial, a partir de um conjunto de medidas pontuais da concentração de clorofila "a" coletadas em campo e valores de reflectância registrados em uma imagem multiespectral, para realizar o mapeamento da variável limnológica. Nesse estudo a partir do valor obtido com o produto do MODIS, foi definido o valor de incremento para o modelo tropical. Nesse caso assim como em outros estudos, foi utilizado um valor médio, o que não é recomendado quando se busca alta precisão.

A integração de outras fontes dados para correção de imagens de Sensoriamento Remoto foi sugerida por Bock e Williams (1997), utilizando dados do *Global Positioning System* (GPS) para correção de imagens de Radar. Li et al. (2006) utilizou dados do atraso zenital obtido através do GPS para correção atmosférica de imagens de radar interferométrico. A integração do GPS, reduziu o efeito provocado pelo vapor d'água entre 5 e 10 mm na determinação da distância entre o solo e o radar.

O uso dos sistemas de posicionamento para obtenção de variáveis atmosféricas como o vapor d'água já vem sendo amplamente estudado e empregado na meteorologia, onde diversos estudos têm utilizado esses dados para assimilação em modelos de PNT. Jin et al. (2008) estimaram através de observações de 3 anos, pelo GPS, o vapor d'água precipitável (PWV) na China. Através destes dados os autores obtiveram análise da variação espaço temporal da variável em estudo, o que evidenciou que a parte sudeste possui uma maior quantidade de vapor d'água, como também uma maior amplitude anual.

Xu et al. (2013) realizaram comparação entre as estimativas do vapor d'água entre o Beidou, sistema Chinês, e o GPS. Foi utilizada uma rede de seis estações, e 3 dias de observações obtidas através do método Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) utilizando as órbitas finais fornecidas pelo *International GNSS Service* (IGS). Os resultados obtidos mostraram uma diferença de 2 mm nas "bias" e de 5 mm no desvio padrão entre os sistemas. Mesmo sem sua constelação total, o Beidou já se

mostrou eficaz na obtenção do vapor d'água, espera-se que com o envio dos demais satélites, seja possível alcançar uma maior precisão na determinação das variáveis meteorológicas.

1.2 Objetivos da Pesquisa

1.2.1 *Objetivo Geral*

Usar o vapor d'água atmosférico predito por modelo de PNT, na correção atmosférica de imagens de Sensoriamento Remoto.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Comparar os valores do vapor d'água obtido a partir da técnica de razão entre bandas com o valor predito pelo modelo de PNT;
- Comparar as assinaturas espectrais obtidas na imagem corrigida utilizando a técnica de razão entre bandas, com as obtidas a partir da imagem corrigida utilizando os valores preditos pelo modelo de PNT e com a imagem apenas calibrada radiometricamente;
- Analisar o efeito da correção em imagens de média resolução espectral, a partir da reamostragem espectral das imagens hiperespectrais.

1.3 Justificativa da Pesquisa

Atualmente os algoritmos de correção atmosférica utilizam duas estratégias para correção dos efeitos causados pelo vapor d'água: técnicas de razão entre bandas e modelos atmosféricos, definidos a partir de dados observados. A dificuldade causada pela razão entre bandas, é a necessidade de um grande número de bandas na região do infravermelho, o que é encontrado apenas em imagens hiperespectrais, impossibilitando essa correção em imagens multiespectrais. Já os modelos atmosféricos, consideram o comportamento do vapor d'água pouco variado ao longo da cena, contudo não é o que acontece. Além disso, como o presente no MODTRAN, parte dos modelos, não utiliza dados de vapor d'água coletados no território brasileiro, assim, os modelos não são ideais para o Brasil.

Com o uso do vapor d'água obtido e predito através do modelo de PNT para o momento do imageamento, é possível obter resultados mais próximos para o momento do imageamento, o que poderá resultar em caracterizações espectrais mais precisas, já que o valor recomendado pelo MODTRAN, nem sempre será próximo deste.

Espera-se que a utilização dos valores do vapor d'água preditos pelo modelo de PNT, proporcione resultados semelhantes aos obtidos utilizando a técnica de razão entre bandas. Caso essa hipótese seja confirmada será possível a implementação nos algoritmos atuais, e o surgimento de novos, para a correção atmosférica de imagens de Sensoriamento Remoto utilizando as previsões numéricas geradas pelos modelos.

1.4 Conteúdo do trabalho

Para atingir os objetivos propostos serão discutidos conceitos relacionados à teoria e execução do trabalho. Para isso, o presente trabalho contém uma revisão bibliográfica sobre o assunto e resultados obtidos pela comparação com valores gerados pela utilização de radiossondas. O conteúdo foi dividido em 7 capítulos, cuja breve descrição se segue:

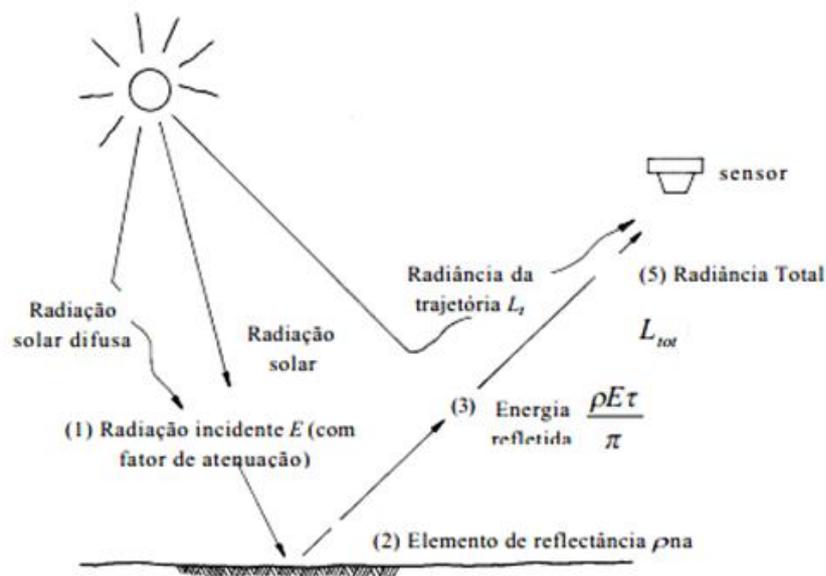
O capítulo 1 contém a introdução, uma breve contextualização do trabalho e seus objetivos. Já no capítulo 2 é realizada uma revisão sobre atenuação atmosférica e sobre o vapor d'água, para o melhor entendimento da importância dessa pesquisa. No capítulo 3 é feita uma revisão sobre os métodos de correção atmosférica e sobre

o método utilizado, o algoritmo FLAASH. No capítulo 4 é apresentado uma revisão sobre os métodos de previsão numérica de tempo e do Modelo ETA, que foram utilizados para fornecer os dados de vapor d'água. No capítulo 5 são descritos os materiais e métodos utilizados. No capítulo 6 são apresentados os resultados e esses são analisados. No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA

Nos estudos de Sensoriamento Remoto, os efeitos da atmosfera na imagem devem ser considerados, especialmente quando a região do azul é utilizada. A atmosfera atua reduzindo a intensidade do fluxo, na distribuição espectral e na direção dos raios incidentes sobre a superfície (MENESES; ALMEIDA, 2012; LILLESAND; KIEFER, 1994). Esse fenômeno ocorre nos dois momentos em que a radiação atravessa a atmosfera, Figura 3.

Figura 3 - Propagação da onda eletromagnética na atmosférica.



Fonte: adaptada de Lillesand e Kiefer (1994)

A radiação registrada pelo sensor pode ser matematicamente expressa, de forma simplificada pela Equação (2.1):

$$L_{tot} = \frac{\rho E \tau}{\pi} + L_t \quad (2.1)$$

Onde: L_{tot} é a radiância espectral total medida pelo sensor, ρ é a reflectância do objeto, τ é a transmitância atmosférica e L_t é a radiância do trajeto a partir da atmosfera.

Os dois principais fenômenos que ocorrem na atmosfera atenuando a energia eletromagnética são: o espalhamento e a absorção. O espalhamento corresponde à mudança aleatória da direção de propagação da onda eletromagnética, sem que haja mudança no comprimento de onda, devido a interação da energia eletromagnética com os componentes atmosféricos. Esse fenômeno está relacionado ao comprimento de onda e a quantidade de partículas na atmosfera.

O espalhamento de Rayleigh se relaciona diretamente com o tamanho das partículas. Ele é um dos responsáveis, juntamente com alguns gases atmosféricos, como por exemplo, o CO, NO₂ e O₂, pela baixa quantidade de energia registrada pelos sensores na região do azul (0,4µm – 0,5 µm). Para partículas muito menores que o comprimento de onda, a quantidade de energia dispersa é expressa pela equação (2.2).

$$R = \frac{1}{\lambda^4} \quad (2.2)$$

Onde: R é o espalhamento e λ é o comprimento de onda.

O espalhamento de Mie ocorre quando a onda eletromagnética é de tamanho comparável ao tamanho das partículas atmosféricas, por isso o espalhamento torna-se independente do comprimento de onda, sendo proporcional apenas ao número de partículas. Matematicamente, ela é expressa pela equação (2.3).

$$M = \frac{1}{\lambda^{0,7-2,0}} \quad (2.3)$$

Onde: M é o espalhamento de Mie e λ é o comprimento de onda.

No Sensoriamento Remoto, o espalhamento Mie se manifesta por perda de contraste entre os alvos da imagem, mas que acontece apenas sob atmosfera com partículas de vapor de água e poeira, isto é, quando a atmosfera está mais densa (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A absorção é um fenômeno físico vibracional e rotacional de cada elemento (MATHER; KOCH 2011), que resulta na diminuição da energia radiante que chega ao alvo e a que é refletida por ele. Um dos principais responsáveis por esse efeito é o vapor d'água.

Segundo Lillesand et al. (2007), os gases constituintes da atmosfera, Tabela 1, absorvem energia eletromagnética em comprimentos de onda específicos, o que influencia fortemente na redução da resposta espectral do alvo, chegando a impedir completamente a propagação das ondas. Os principais gases absorvedores da radiação eletromagnética são vapor d'água (H₂O), oxigênio (O₂), ozônio (O₃) e gás carbônico (CO₂).

Tabela 1. Bandas de absorção da atmosfera terrestre.

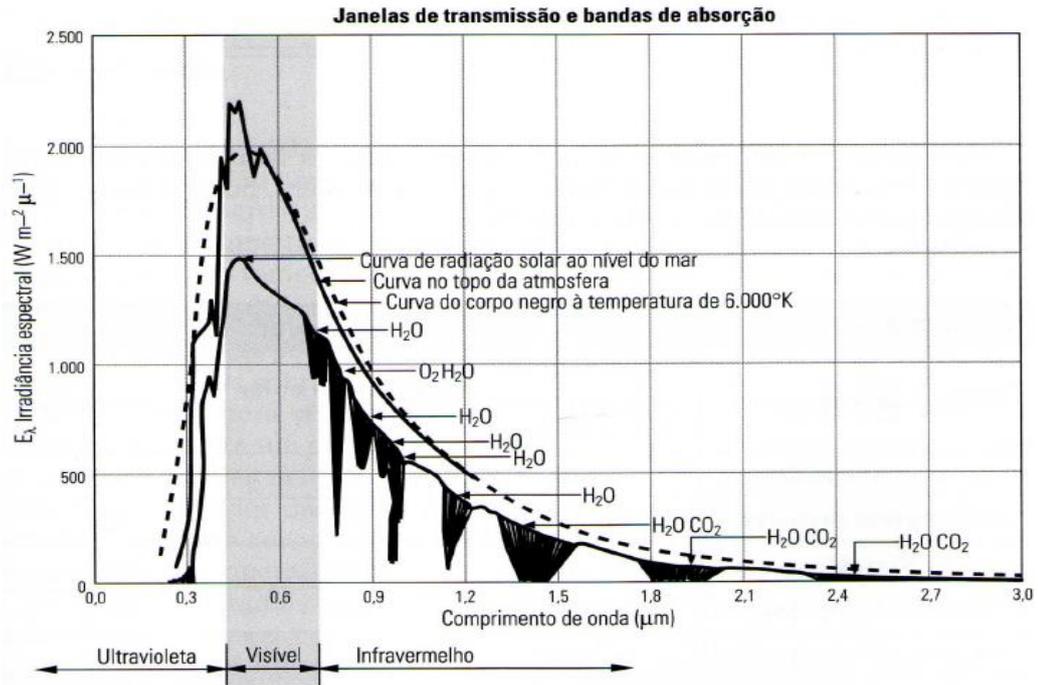
Gás	Bandas de absorção
O ₂ (oxigênio)	0 - 0,3 μm
O ₃ (ozônio)	5,0 - 9,5 μm
H ₂ O (vapor d'água)	0,7 - 0,8; 3,3; 5,5 - 7,5; 11,9 μm
CO ₂ (gás carbônico)	2,7 - 2,9; 4,1 - 4,2; 9,4; 12,6; 14,0 μm

Fonte: Lillesand e Kiefer, 1979, p. 390

Grande parte da energia solar que atinge a superfície terrestre está concentrada na faixa espectral do visível, compreendida entre 0,4 e 0,7 μm, seguindo a lei de Wien, que afirma que quanto maior a temperatura do corpo negro, menor será o comprimento de onda por ele emitido. Como a atmosfera absorve muito pouco nesta região, grande parte da energia solar atinge a superfície da Terra, não sofre com grandes problemas de atenuação. Contudo não são todas as faixas espectrais que sofrem com pouca atenuação atmosférica. Na região do infravermelho os principais gases absorvedores são o vapor d'água (H₂O) e o dióxido de carbono (CO₂), em alguns pontos dessa faixa a uma completa absorção da radiação por esses gases. Os trechos onde a transmissão é possível são chamados de janelas atmosféricas. A Figura 4, apresenta as regiões de absorção conforme o comprimento de onda.

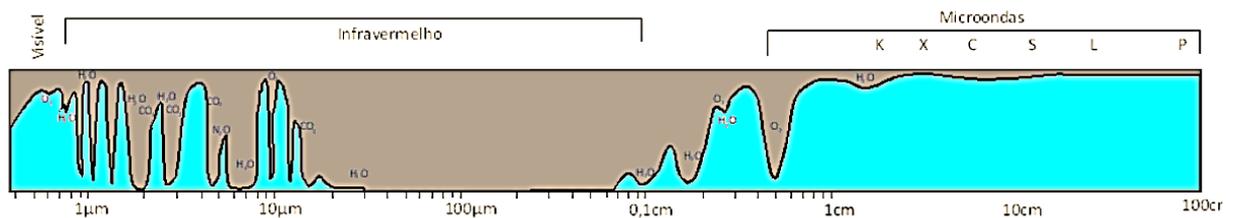
Na Figura 5 as áreas em azul correspondem às regiões espectrais de transparências da atmosfera e as áreas em cinza correspondem às regiões espectrais onde os gases atmosféricos absorvem a radiação eletromagnética.

Figura 4 - Absortância em função do comprimento de onda.



Fonte: Novo (2010).

Figura 5 - Transmitância da radiação eletromagnética através da atmosfera.



Fonte: Meneses e Almeida (2012)

2.1 Vapor D'água

A atmosfera é uma mistura de gases em que predomina o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). Em percentagens menores, o ar atmosférico também contém partículas orgânicas e inorgânicas, que têm um papel fundamental no ciclo hidrológico, pois formam os núcleos de condensação do vapor de água nas nuvens (COLLISCHONN; TASSI, 2008). A maior parte dos gases atmosféricos encontra-se na camada mais próxima à superfície, chamada de troposfera.

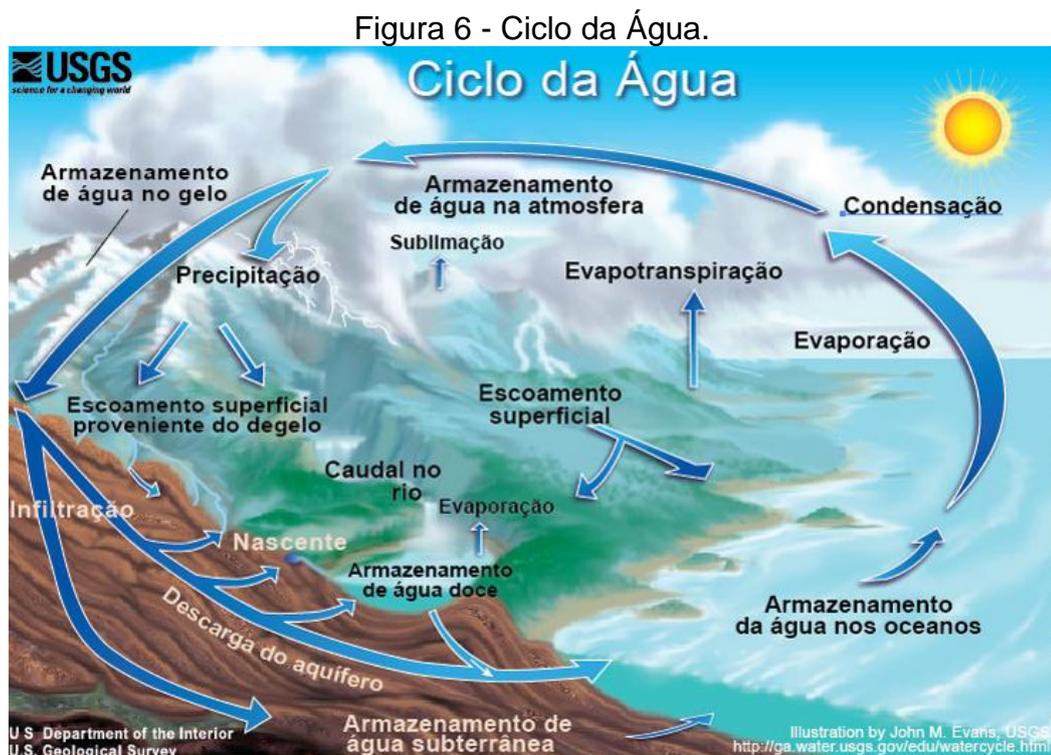
O vapor d'água, assim como outros, possui menor volume na constituição da atmosfera mas, possui grande importância. De acordo com Schläpfer et al. (1998),

devido a sua ligação com o clima e por ser um dos principais atenuantes da radiação eletromagnética na atmosfera.

A presença do vapor d'água na atmosfera varia desde valores próximos de 0%, em regiões de deserto, até valores entre 4%, em volume, em regiões quentes e úmidas (SAPUCCI, 2001a), que é o caso da região do Recife.

A presença do vapor d'água na atmosfera é proveniente da evapotranspiração, principalmente das plantas, e da evaporação da água dos rios, lagos e oceanos. Essa formação mostrada na Figura 4 é chamada de ciclo hidrológico. O conceito de ciclo hidrológico está relacionado ao movimento e à troca de água, em seus diferentes estados físicos, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera.

Segundo Tucci (1997), esse ciclo é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.



Fonte: Evans, J. M., USGS (2011)

De acordo com Sapucci e Monico (2001b) o vapor d'água é de difícil previsão, já que varia no tempo e espaço de forma muito rápida, contudo ela é de grande

importância, para o clima como também para manutenção da vida na Terra, já que atua como um termorregulador natural do planeta. Sua variação na atmosfera ocorre principalmente devido a variação de temperatura e da maior ou menor presença de corpos hídricos na região, porém a altitude, latitude, uso do solo e época do ano também influenciam.

A quantidade de vapor d'água atmosférico presente acima de um dado ponto na superfície da Terra é usualmente declarada como uma massa de vapor d'água integrada verticalmente por unidade de área, cuja unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o quilograma por metro quadrado (kg/m^2) (SAPUCCI, 2001a).

O estudo do vapor d'água na meteorologia e na climatologia é de extrema importância já que uma pequena parcela dessa variável na atmosfera interfere diretamente na vida terrestre. Segundo Bevis et al. (1992) o monitoramento dessa variável é importante para entender seu efeito sobre uma região. Por isso várias técnicas de monitoramento foram desenvolvidas, desde medição por radiossondas e radiômetros até a medição na superfície e mais recentemente através do GNSS. Contudo essas técnicas não são precisas, o que acarreta erros nas previsões de fenômenos meteorológicos.

Por sua característica de atenuar a propagação das ondas eletromagnéticas, o vapor d'água provoca alguns problemas para Sensoriamento Remoto passivo e ativo, e na propagação das ondas do GNSS e outras ondas de rádio, obrigando a realização da correção atmosférica desses dados.

3. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

A correção atmosférica é uma etapa do pré-processamento em Sensoriamento Remoto, que é realizada quando a análise radiométrica é o foco. Especialmente, quando imagens hiperespectrais são utilizadas é necessário realizar esse pré-processamento.

Segundo Baptista (2012), essa etapa é bastante controversa e de extrema importância no processamento de imagens, especialmente no processamento de imagens hiperespectrais que requer obrigatoriamente que as imagens passem pelo processo de correção atmosférica. De acordo com Agrawal e Sarup (2011) para que seja possível obter o máximo de informações de imagens de sensores hiperespectrais, é necessária a realização da correção atmosférica.

A correção atmosférica é um ponto chave para a correta definição dos espectros eletromagnéticos dos alvos contidos na imagem. Se ela for realizada sem o devido cuidado e sem considerar todas as variáveis existentes, erro considerável pode existir, especialmente em aplicações que necessitam da faixa espectral do azul. Os algoritmos de correção podem ser de três tipos: empíricos, os que se baseiam em modelos de transferência radiativa e os híbridos. Os algoritmos empíricos utilizam os dados contidos apenas nas cenas, sem dados adicionais, como temperatura, umidade, modelos de aerossóis, etc.

Os algoritmos de transferência radiativa utilizam modelos matemáticos aproximando a atmosfera a uma série de planos paralelos, calculando o espalhamento e a absorção dos gases atmosféricos em cada um. Esses modelos são bastante utilizados para a correção atmosférica, devido a este método de cálculo.

Os algoritmos de correção do vapor d'água surgiram na metade da década de 80, com a criação dos primeiros algoritmos empíricos. Outros algoritmos mais robustos como os que se baseiam em modelos de transferência radiativa, surgiram no início da década de 90.

O primeiro algoritmo proposto foi o *Atmosphere Removal* (ATREM), proposto por Gao et al. (1993). Nesse algoritmo, desenvolvido para imagens hiperespectrais, é possível obter o vapor d'água integrado, através de uma razão entre bandas, em regiões de absorção e reflexão.

Após a criação do modelo ATREM, vários outros algoritmos surgiram, como: *High-accuracy Atmospheric Correction for Hyperspectral Data* (HATCH) (QU et al., 2003), o *Atmosphere CORrection Now* (ACORN) (KRUSE, 2004), o FLAASH (ADLER-GOLDEN et al., 1999) e o ATCOR (RICHTER, 1996; RICHTER & SCHLAEPFER, 2002).

3.1 Algoritmo FLAASH

O algoritmo FLAASH foi desenvolvido pela *Spectral Sciences, Inc.*, através de uma parceria com o Laboratório de pesquisas da Força Aérea dos Estados Unidos. De acordo com Felde et. al. (2003) esse algoritmo foi desenvolvido com o objetivo de eliminar os efeitos causados pelo espalhamento e pela absorção para obtenção dos valores de refletância dos alvos imageados em imagens multiespectrais e hiperespectrais. Ele se baseia no MODTRAN, que é um modelo de transferência radiativa, e utiliza uma série de equações para o cálculo da transmitância e radiância para frequências até 20 μm com uma resolução espectral moderada de 0,0001 μm (KAWISHWAR, 2007).

Para correção atmosférica, o FLAASH requer alguns dados como: vapor d'água, hora e data do imageamento, definição do algoritmo de espalhamento, ângulo azimutal e de elevação do sensor, entre outros. Ele pode ser utilizado para corrigir imagens que estejam dentro do espectro visível até o infravermelho médio, na região de 3 μm . Para obtenção da radiância espectral do *pixel* na imagem é utilizada a seguinte equação:

$$L' = \left[\frac{Ap}{(1-\rho eS)} \right] + \left[\frac{Bpe}{(1-\rho eS)} \right] + La \quad (3.1)$$

Onde: L' é a radiância no sensor, ρ é a refletância do *pixel* na superfície, ρe é a média da refletância no entorno do *pixel*, S é o albedo do topo da atmosfera, La é a radiação espalhada pela superfície e A e B são coeficientes que dependem da geometria e da condição atmosférica.

O primeiro termo da equação corresponde a radiação refletida pela superfície que chega ao sensor e o segundo é a radiação refletida que é espalhada pela superfície e chega ao sensor. A diferença entre os dois termos ocorre em função da

mistura espectral, que ocorre devido ao espalhamento, e para calcular esse parâmetro são utilizados os ângulos de visada do satélite e do Sol além da altitude e do modelo de aerossol selecionado.

O vapor d'água utilizado pelo FLAASH pode ser obtido através das próprias imagens, desde que o sistema sensor possua duas bandas em pelo menos uma das três regiões (0,82 μm , 0,94 μm e 1,135 μm) utilizadas para o cálculo. A partir de uma razão entre bandas é possível estimar o vapor d'água para cada *pixel* da imagem, contudo nem todos os sensores possuem bandas nessas regiões, geralmente apenas sensores hiperespectrais, por isso alguns valores são propostos para utilização dependendo da área de estudo e da época do ano, Tabelas 2 e 3. Esses valores propostos, foram obtidos a partir de perfis gerados por radiossondas (ABREU; ANDERSON, 1996). Segundo Mather (2011), o uso de valores obtidos através de modelos empíricos resulta em perda de acurácia e o efeito dessa inexatidão não é avaliável. Como exemplo têm-se resultados apresentados no Apêndice B, com perfis mostrando o resultado com e sem a correção pelo FLAASH e as imagens de vapor d'água obtidas pela técnica de razão entre bandas com imagens do sensor Hyperion de os dias 25/03 e 13/06 de 2002 para a região de Recife/PE.

Os valores sugeridos nem sempre retratam a realidade da área no momento do imageamento, o que acarreta em resposta espectral maior ou menor do que o esperado, dependendo do valor utilizado.

Tabela 2. Valores Recomendados para Vapor D'água.

Modelo Atmosférico	Vapor D'água (g/cm²)
Sub-ártico de Inverno (SI)	0,42
Média Latitude de Inverno (MLI)	0,85
Sub-ártico de Verão (SV)	2,08
Média Latitude de Verão (MLV)	2,92
Tropical (T)	4,11

Fonte: Adaptado de Felde et. al. (2004)

Os modelos de aerossóis presentes são 4: *Rural*, que considera baixa quantidade de partículas na atmosfera, o *Urban*, que é indicado para áreas adensadas e com indústrias, o *Maritim*, que considera áreas próximas ao oceano, contudo ele não é indicado para o Recife, já que omite partículas de grande diâmetro, e o *Tropospheric* que considera a atmosfera com pequenas partículas, como no rural, e

em baixa quantidade.

Tabela 3. Recomendação de perfil do MODTRAN em relação a faixa de latitude e época do ano.

Latitude	Janeiro	Março	Maior	Julho	Setembro	Novembro
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLV	MLV	T
-30	MLV	MLV	MLV	MLV	MLV	MLV

Fonte: Adaptado, RSI (2009)

O FLAASH possui 3 modelos para corrigir o espalhamento, não apenas o espalhamento atmosférico, mas também o espalhamento sofrido pelos *pixels* adjacentes, já que esses geram um efeito aditivo nos *pixels* próximos. O modelo ISAACS é o mais simples e rápido entre todos. O DISORT é o mais acurado dentre os modelos disponíveis para a região de ondas curtas até 100 μm , contudo esse algoritmo requer uma alta capacidade de processamento. O *Scaled*-DISORT é uma versão simplificada do DISORT, apresentando resultados semelhantes, mas com um tempo de processamento menor.

O DISORT e o *Scaled* DISORT consideram o espalhamento em múltiplas direções, o que permite um resultado melhor quando comparados a outros algoritmos. Os valores de espalhamento de cada *pixel* próximos são identificados e calculados em função de cada método. Esses valores são interpolados ao longo do intervalo de comprimento de onda, e aplicados como um fator multiplicativo a imagem (RSI, 2009).

4. PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO

4.1 Introdução

A PNT consiste na integração numérica de sistemas de equações que simulam os processos físicos, dinâmicos e termodinâmicos em relação ao tempo para simular as mudanças na atmosfera (FERREIRA, 2011). Os modelos numéricos são baseados em equações matemáticas, que se baseiam nas leis da física, como por exemplo, as leis de conservação de massas, e dos gases. As equações utilizadas podem ser resolvidas através de um *grid* (grade), estimando diversas variáveis, como por exemplo, a temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e o objeto de estudo dessa dissertação, o vapor d'água integrado.

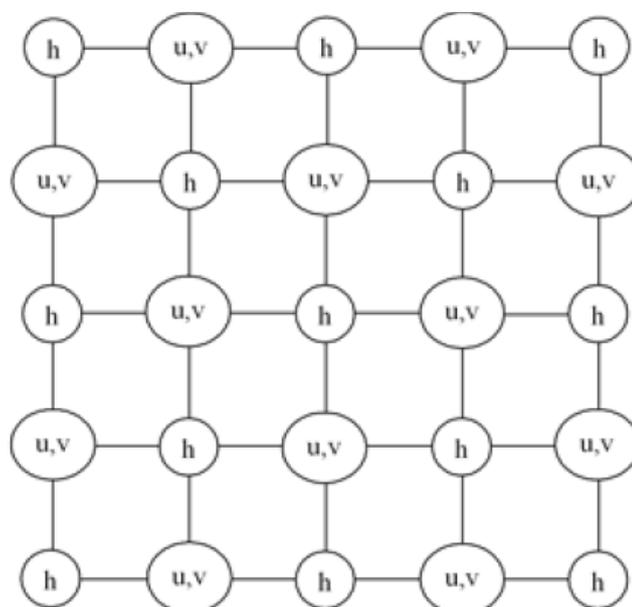
Os modelos de PNT podem ser classificados como globais e de mesoescala. Os modelos globais são modelos que atuam considerando todo o globo. Os modelos de mesoescala recobrem áreas menores, como o continente sul-americano. Esses modelos são capazes de representar fenômenos que não podem ser simulados pelos modelos globais, como por exemplo, a influência da topografia.

De acordo com Ferreira (2011) a estimativa de campo e fenômenos meteorológicos é uma tarefa complexa. Os modelos matemáticos utilizados vêm minimizando os erros do sistema, porém, há a necessidade de explorar novas técnicas para o aprimoramento das previsões e estimativas. O aumento da densidade das estações meteorológicas e o desenvolvimento de novos sensores remotos são fatores que impulsionaram a qualidade desta técnica, aumentando a qualidade das condições iniciais, resultando em estimativas com um grau de exatidão maior.

Atualmente um dos modelos de previsão utilizado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), o qual foi utilizado nessa pesquisa, é o modelo ETA, que é um modelo de mesoescala. Esse modelo é uma evolução do modelo HIBU, desenvolvido na Iugoslávia durante a década de 70 do século passado. Ele é um modelo de mesoescala, em grade, que utiliza uma estrutura discreta. Seu nome é derivado da letra grega η (*eta*), que é o sistema de coordenada vertical adotado pelo sistema. A desvantagem desse modelo é o fato dele não representar com acurácia a realidade topográfica.

O modelo ETA é regional e no CPTEC é utilizado para a América do Sul, com resoluções de 40, 20 e 15km. Suas previsões são fornecidas duas vezes ao dia, uma com condição inicial às 00h e outra às 12h UTC, e a cada 3h são realizadas assimilações a partir de novos dados observados. A condição inicial é proveniente da análise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e as condições de contorno lateral são provenientes das previsões do modelo global do CPTEC e atualizada a cada 6 horas (CHOU et al., 2004). A Figura 7, representa o tipo de estrutura de Grade utilizada no modelo ETA.

Figura 7 - Grade E de Arakawa.



Fonte: Arakawa 1972, apud Popovic, 2006.

4.2 Assimilação de Dados

A assimilação de dados é uma análise que combina observações distribuídas no tempo e um modelo dinâmico. Ela é uma técnica de análise, na qual a informação observada é acumulada em um modelo de estado. O processo de assimilação de dados é definido em 4 etapas: controle de qualidade; análise objetiva; inicialização; previsão curta para preparar para o próximo campo de *background*¹ (CINTRA, 2008).

Na etapa de controle de qualidade os algoritmos são projetados para rejeitar ou modificar dados que podem influenciar negativamente no modelo ou que estão inconsistentes, ou seja, os erros presentes nas observações, sejam erros aleatórios ou não, são identificados e descartados. Nessa etapa são verificados códigos e localização correta das estações, depois, verifica-se a confiabilidade do dado, através dos dados de seus vizinhos, tanto em função do tempo como também do espaço. Além dessa ainda existe a verificação contra o campo do modelo.

A primeira análise objetiva, foi produzida por Panofsky em 1949 usando uma técnica de ajustes por mínimos quadrados em duas dimensões. Segundo Cintra (2004), essa técnica consiste basicamente em expandir os campos (variáveis) a serem analisadas em séries de polinômios em torno do ponto de observação minimizando o quadrado de suas diferenças com os valores observados. Inicialmente a previsão numérica passou a ser utilizada como a primeira estimativa, o *background*¹, para o estado analisado. Com isso foi implementado o sistema de correções sucessivas, que não analisa as observações diretamente, mas sim, subtrai o campo de *background* de cada observação produzindo os incrementos de observação que são analisados e produzem o incremento de análise, que é somado aos campos de *background* para produzir a análise final.

Os algoritmos de análise utilizam o máximo de informações disponíveis sobre o sistema, para fornecer o estado deste sistema em um dado instante futuro, com a maior precisão e consistência possível (STRUNK, 2006). Para isto são realizados aprimoramentos à medida em que o *background* e as observações são combinados, resultando em uma condição inicial balanceada para os modelos numéricos.

Basicamente todos os métodos de assimilação são fundamentados no Filtro de Kalman como apresentando na Equação (4.1).

$$X_a = X_b + W[y_o - H(X_b)] \quad (4.1)$$

Onde: x_a é a análise (a previsão para o próximo momento), x_b o campo de *background*, ou seja a previsão anterior (a previsão de um estado anterior), W a matriz dos pesos, y_o ou L , é o vetor de observações e $H(x_b)$ ou AX , é o operador observação que realiza a interpolação necessária e a transformação das variáveis do modelo para o espaço

¹ O *background* é a previsão anterior, gerada pelo modelo.

das observações. A diferença $y_o - H(x_b)$ é o incremento observacional, o resíduo observado. A partir disso, podemos definir a equação da seguinte forma:

$$X_a = X_b + W [L - AX] \quad (4.2)$$

Dentre os métodos de análise objetiva, pode-se citar: o *Optimal Interpolation* (OI) (GANDIN, 1963), um dos primeiros métodos a aplicar uma base estatística na análise através das funções de covariância das variáveis meteorológicas (TALAGRAND, 1997). O modelo *Three Dimensional Variational Data Assimilation* (3D-Var) consiste, basicamente, na minimização de uma função custo J (Equação 4.3), a partir de um background J^b e de um termo observacional J^o , diretamente proporcional à diferença entre observação e estimativa do modelo, com o objetivo de se obter a análise ótima.

$$J(x) = \frac{1}{2} (x^b - x)^T B^{-1} (x^b - x) + \frac{1}{2} (y^0 - H[x])^T (E + F)^{-1} (y^0 - H[x]) \quad (4.3)$$

Onde: x^b é a estimativa inicial de x , B é a matriz de covariância do erro, y_0 o vetor de valores observados, E é a matriz de variância de erro, y é a previsão dos valores observados ($y=H[x]$), sendo $H[x]$ é a matriz de variância e covariância das medidas dos resíduos e F é a matriz de covariância de erro de $H[x]$ (LORENC, 1986).

Além desses ainda existe o modelo *Four Dimensional Variational Data Assimilation* (4D-Var), esse método que assimila nas três dimensões espaciais e no tempo através de um modelo adjunto. O *Physical-space Statistical Analysis System* (PSAS) que relaciona as metodologias 3D-Var e OI.

Atualmente os grandes centros meteorológicos no mundo utilizam diferentes sistemas de assimilação. No *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) é utilizado o sistema 4D-Var. No Brasil o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) está em operação o modelo PSAS.

A inicialização não é um método de assimilação de dados, mas sim, uma etapa indispensável para previsões atmosféricas utilizando modelos computacionais. A inicialização é utilizada para manter o modelo em equilíbrio. Esse equilíbrio é importante, já que se o estado inicial não estiver em equilíbrio apropriado, o algoritmo será impedido de realizar a verificação dos dados de forma correta, o que irá gerar

decisões de controle de qualidade também incorretas. Devido a isto, foram introduzidos procedimentos de inicialização, que tem como objetivo equilibrar o modelo, como por exemplo, a técnica de inicialização dinâmica. Esse procedimento se baseia em métodos multivariáveis que permitem o controle dos ruídos gerados pela inserção de dados no modelo de previsão.

A grande necessidade pela implementação e desenvolvimento dos modelos de assimilação de dados, de acordo com Cintra (2008) é o fato da previsão numérica de tempo ser um problema matemático de condição inicial e de contorno, o que gera uma grande dependência dos dados observados e com a forma de como estes são analisados e filtrados para inicializar o modelo. Dados observados apresentam erros oriundos do próprio instrumento, de representatividade dos dados e da não calibração, por exemplo, que são adicionados ao final da análise e das previsões numéricas de tempo. Os sistemas de assimilação mais modernos, são capazes de utilizar uma maior quantidade de dados e de forma mais eficiente. Além das estações convencionais de superfície e altitude, os satélites têm fornecido uma imensa quantidade de dados, devido as características dessa tecnologia que permite a obtenção com uma boa resolução temporal e grande capacidade de recobrimento. Atualmente cerca de 60% dos dados utilizados na assimilação pelo ECMWF são oriundos de sensores orbitais, tanto sensores LEO (*Low Earth Orbit*), como também sensores de maior altitude como os geoestacionários.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Área de Estudo

A área de estudo utilizada foi a região metropolitana do Recife, que está localizada na região Nordeste do Brasil. As imagens obtidas recobrem parte da cidade e da região metropolitana. A cidade do Recife apresenta altitude média de 4m, contudo em sua região norte, algumas áreas apresentam ondulações com maior amplitude, mas como essas áreas não foram utilizadas nesta dissertação, não se fez necessário a realização da ortorretificação da imagem utilizada.

De acordo com Andrade (1977), a classificação climática de Köppen - que leva em consideração fatores como: relevo, regime de chuvas, temperatura, entre outros - é tropical quente e úmido do tipo As', e caracteriza-se por apresentar altas temperaturas ao longo do ano e índices elevados de umidade.

A região metropolitana do Recife é uma das mais importantes regiões do Brasil, apresentando grande concentração de indústrias. De acordo com dados de 2012 da Federação das Indústrias de Pernambuco (FIEPE), 78% das indústrias do estado se concentravam nessa região. Toda essa concentração de indústrias provoca significativos efeitos na atmosfera, a principal delas é o aumento no nível de partículas na atmosfera, o que acarreta problemas para o Sensoriamento Remoto, como a atenuação e o espalhamento da radiação eletromagnética.

5.2 Materiais

Para a realização dessa dissertação foi utilizada uma imagem do sensor *Hyperion*. Além da imagem, foram obtidos junto ao CPTEC/INPE, arquivos binários gerados pelo modelo de previsão de tempo ETA15. Para extração dessa informação foi realizada adaptação do código fonte do *software* Interpol, em linguagem Fortran 90, disponibilizado pelo CPTEC através do seguinte endereço: http://pyata.cptec.inpe.br/zenital/documentos/interpol_win.rar. Para a correção atmosférica foi utilizado o *software* ENVI 5 e o algoritmo FLAASH.

5.2.1 Imagem Hiperespectral

A imagem do sensor *Hyperion* foi obtida junto a USGS para o dia 28/02/2014, de acordo com os boletins pluviométricos da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), não foram registradas precipitações entre o dia 26/02/2014 e o dia analisado.

O sensor *Hyperion* está a bordo do satélite EO-1 (*Earth Observing-1*) que foi lançado pela NASA em 21 de novembro de 2000. Ele possui 242 bandas, com 10nm de largura, que estão distribuídas entre o visível e infravermelho, com resolução espacial nominal de 30m e temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 16bits. De acordo com Pearlman et al. (2003), a calibração radiométrica absoluta e *pixel a pixel*, é diretamente realizada usando o sistema de calibração interna e a irradiância solar, sendo o processo controlado pela USGS. A imagem foi obtida com nível de processamento L1GST, com resolução espacial de 29,94m. Os dados de obtenção das imagens estão descritos na Tabela 4.

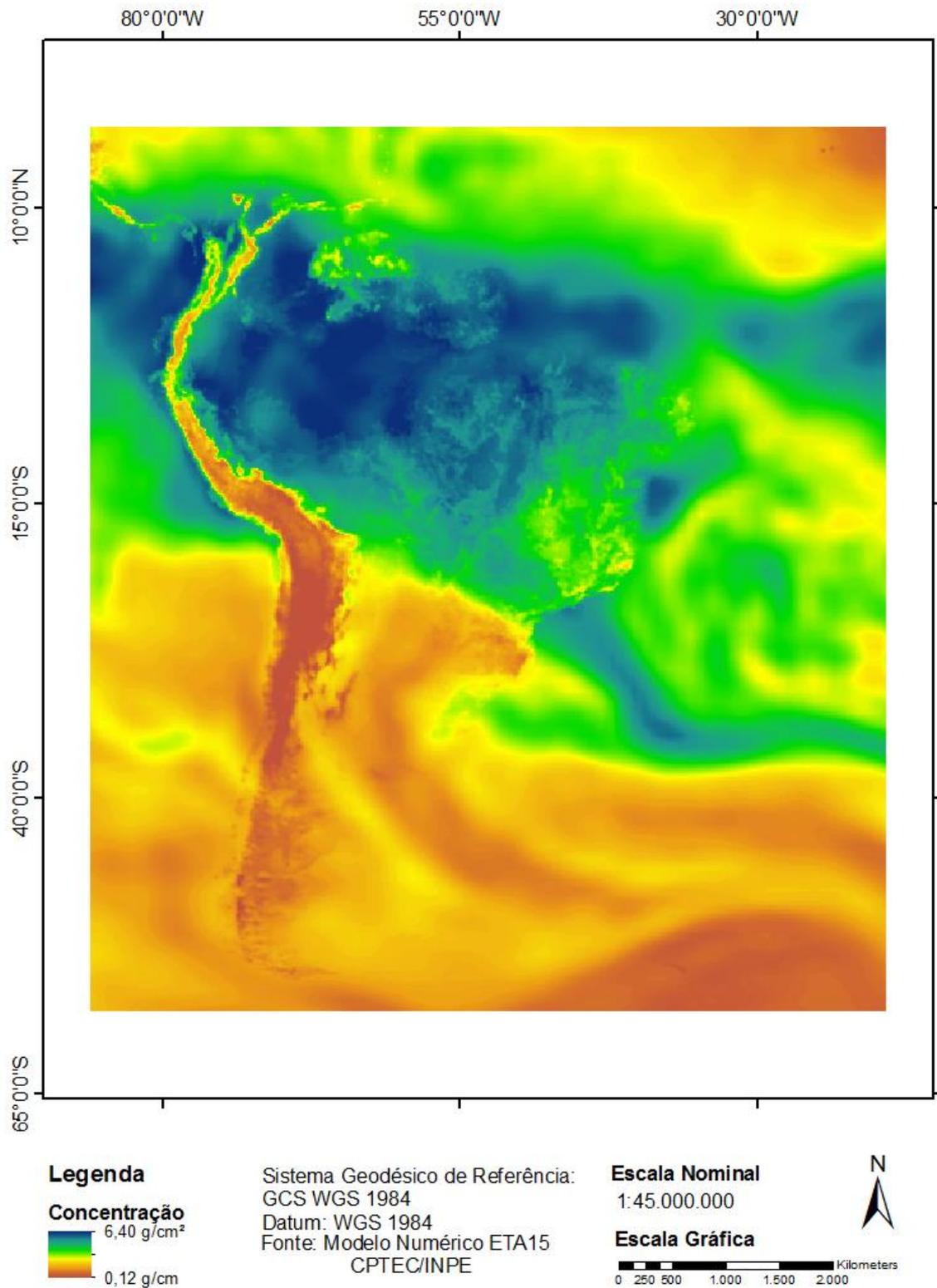
Tabela 4. Dados das imagens

Dados	Imagem 1
Órbita/Ponto	213/66
Horário de Passagem	11:38:06 (UTC)
Azimute Solar	93.0°
Elevação Solar	46.83°
Inclinação do Satélite	98.06°
Ângulo de Visada	-5.90°

5.2.2 Dados De Vapor D'água

Foram disponibilizados dois arquivos binários para o dia, sendo um para às 9h (UTC) e 12h (UTC). Cada arquivo contém dados de pressão, temperatura, umidade além do vapor d'água. A Figura 8, apresenta a distribuição do vapor d'água, para a região da América do Sul, área de abrangência do modelo, em kg/m², produzido a partir do *software* OpenGrADS, que é uma ferramenta para facilitar o acesso, manipulação e visualização de dados de ciências da terra.

Figura 8 - Imagem de vapor d'água obtida gerada pelo modelo de PNT.



5.3 Métodos

A partir dos dados utilizados descritos na seção anterior, foram aplicadas, além da técnica de correção atmosférica, a técnica de simulação de imagem multiespectral para avaliar o impacto da correção com a metodologia proposta, na Figura 9, está representado o esquema metodológico utilizado na dissertação

As bandas foram importadas para o ENVI 5 através do *plugin Hyperion Tools* disponibilizado no site da Exelivis, desenvolvedora do ENVI. Após a importação, as 242 bandas passaram pelo processo de reamostragem espacial, foram escolhidos os 10 *pixels* de diferentes materiais, para avaliar a correção sobre diferentes materiais, em cada imagem, dos quais foram obtidas as assinaturas espectrais, que foram a base principal para avaliação do método proposto.

Após essa etapa, as imagens passaram pelos processos de calibração radiométrica, onde os níveis digitais foram convertidos para reflectância aparente, e de correção atmosférica, utilizando a técnica de razão entre bandas, utilizando a faixa de 0,82 μm , e a metodologia proposta utilizando o valor obtido pelo PNT.

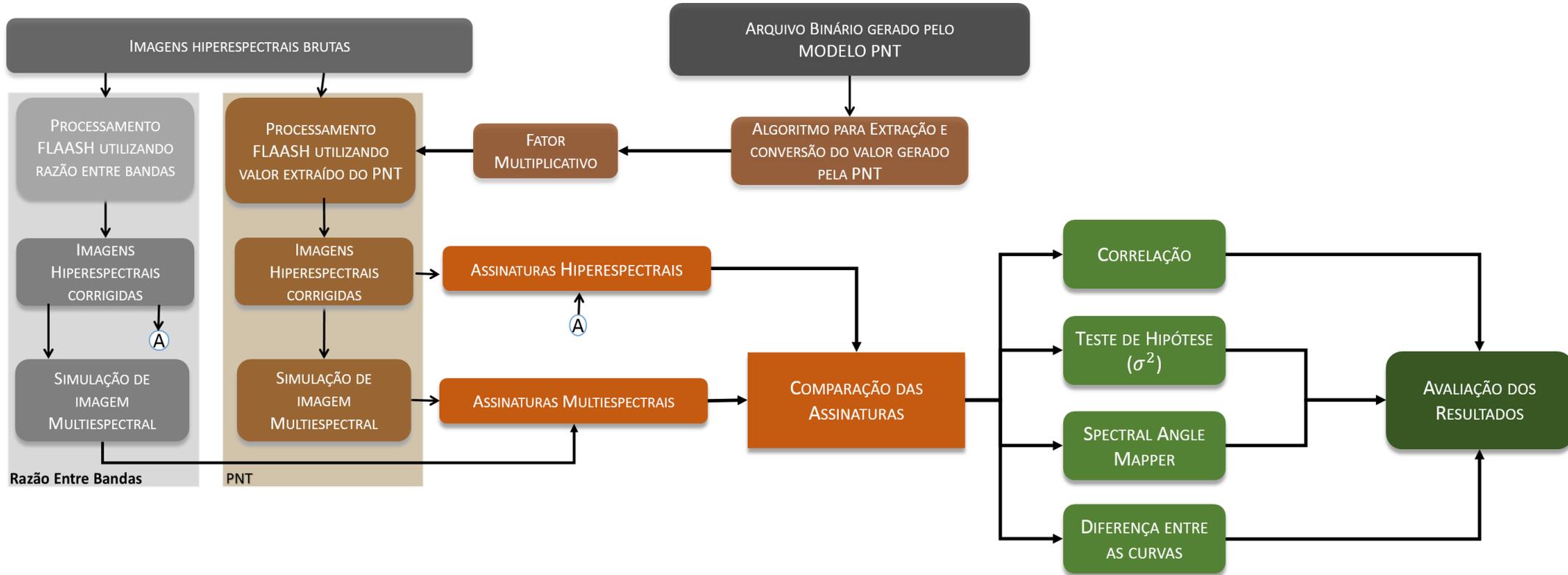
Antes do processamento das imagens, o algoritmo do *software* Interpol foi adaptado (anexo A), para leitura do arquivo binário, já que o arquivo fornecido tem uma estrutura diferente da utilizada por este *software*. Além da modificação na leitura, foi necessário converter a constante fornecida pelo modelo (kg/m^2) para a utilizada pelo FLAASH (g/cm^2). Para isso foi utilizada a Equação 5.1.

$$Fm = IWV\text{-GNSS} * IWV\text{-FLAASH}^{-1} \quad (5.1)$$

Onde: Fm é o fator multiplicativo, $IWV\text{-GNSS}$ foi o valor obtido através do processamento GNSS convertido para g/cm^2 e $IWV\text{-FLAASH}$ é o valor para o vapor d'água para o tipo de modelo escolhido que no caso foi de $4.11\text{g}/\text{cm}^2$.

Para interpolação dos dados para o momento da passagem do satélite, foi implementado uma interpolação linear, que utiliza o horário em que a informação do *pixel* foi obtida. Para determinar esse momento foi realizada uma simples regra que se baseia na quantidade de linhas obtidas por segundo pelo sensor, a hora em que o imageamento foi iniciado e finalizado.

Figura 9 - Esquema metodológico



5.3.1 Correção Atmosférica

Método Convencional (Razão Entre Bandas)

Nos processamentos utilizando a técnica de razão entre bandas, foi utilizada a região de 0,82 μm , como recomendado por Felde (2004), já que a região metropolitana do Recife apresenta grande concentração de vapor d'água na atmosfera. As demais configurações, modelo de aerossol, algoritmo de espalhamento e os ângulos de visada, Tabela 5, foram utilizadas para a correção das imagens através da técnica proposta. De acordo com o relatório gerado após a correção o algoritmo utilizou como bandas de absorção as bandas: 38 (0,732 μm) e 39 (0,742 μm), e como bandas de referências as bandas: 34 (0,691 μm), 35 (0,701 μm), 42 (0,772 μm) e 43 (0,782 μm).

Tabela 5. Descrição dos dados inseridos para o processamento

Parâmetro	Imagem 1
Altitude do Sensor	705km
Altitude Média (Recife)	4m
<i>Water Retrieval</i>	0,82 μm
Algoritmo de Espalhamento	DISORT
Modelo de Aerossol	<i>Urban</i>

Método Proposto

A partir dos arquivos binários gerados pelo modelo de previsão de tempo, e da adaptação do *software* Interpol, foram extraídos os valores de vapor d'água para os *pixels* selecionados. As imagens geradas pelo *Hyperion Tools* passaram pelo algoritmo FLAASH, mas desta vez, utilizando os dados para o vapor d'água obtidos através do modelo de PNT. A partir da grade de pontos foram extraídos os valores do vapor d'água para os *pixels* escolhidos. Em seguida, esse valor foi utilizado na correção atmosférica, através de um fator multiplicativo. Ele foi obtido através de uma relação matemática (regra de três) com o valor recomendando pelo FLAASH. Apenas o *pixel*, cujo o valor foi extraído foi analisado.

5.3.2 Técnicas De Processamento De Imagens

Para avaliação dos resultados foram analisadas as assinaturas espectrais de alguns alvos na imagem, eles foram escolhidos em função da presença no pixel, ou seja, apenas os pixels que eram totalmente distintos na imagem foram utilizados. Além disso foi realizada a simulação de imagem multiespectral e análise visual das imagens.

- **Simulação de imagens**

Após os processos de correção atmosférica, foi realizada a simulação da imagem do sensor *OLI*, a partir dessa técnica é possível analisar o comportamento das bandas a partir da reamostragem e o efeito da correção sobre imagens multiespectrais.

Para isso foi utilizada a ferramenta *Spectral Resampling*, que possui uma série de filtros pré-definidos para diversos sensores, a partir dos comprimentos de onda de cada banda e do *Full Width At Half Maximum (FWHM)* de cada banda do sensor que se pretende simular, no caso o sensor *OLI*, o algoritmo consegue reamostrar as imagens e gerar uma nova imagem de saída, com características radiométricas semelhantes. A Figura 10, contém os filtros do sensor *OLI* utilizado no *ENVI 5*.

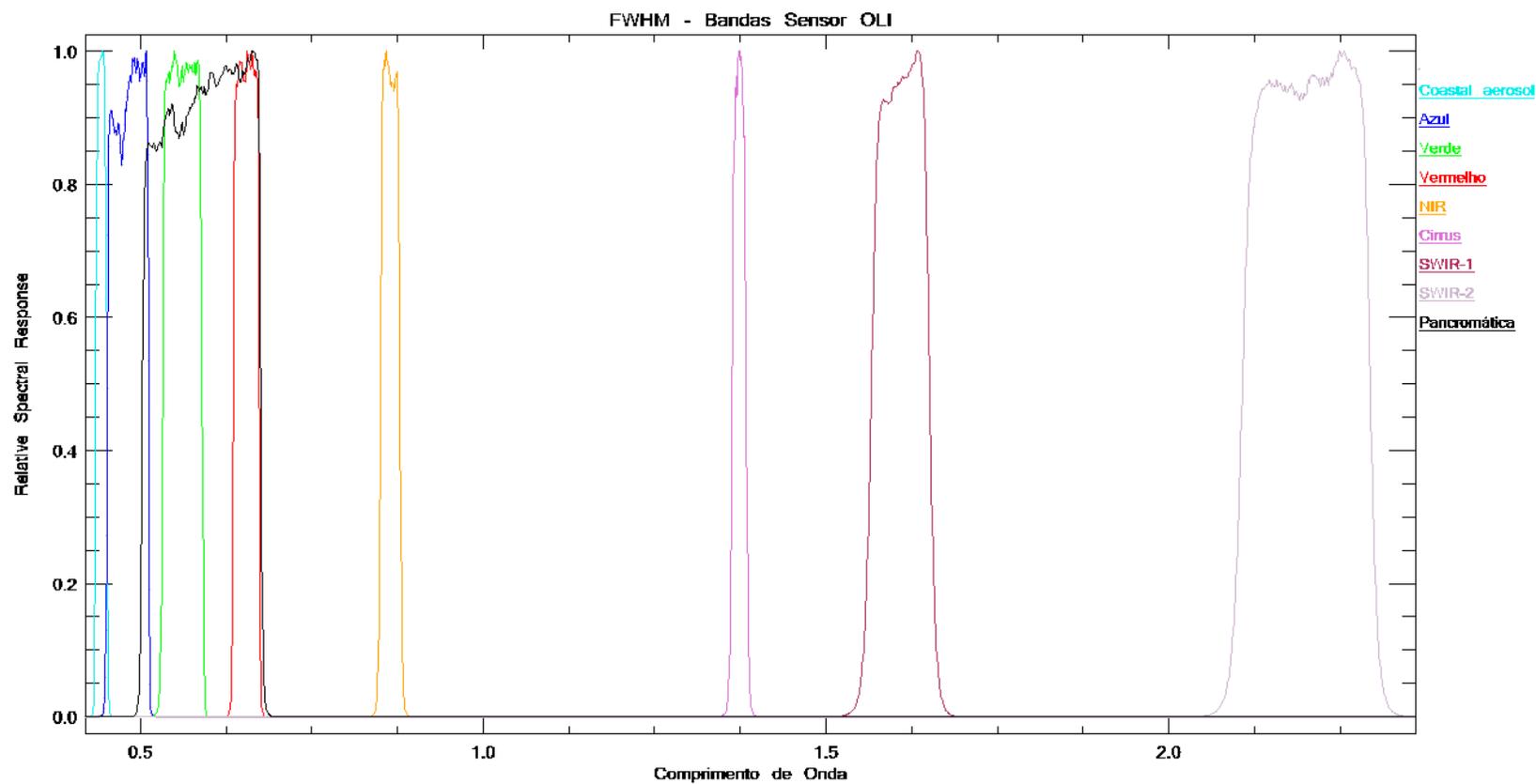
5.3.3 Avaliação dos Resultados

Para avaliação dos resultados foram utilizados métodos estatísticos e visuais. Foi realizada inicialmente avaliação visual dos níveis de refletância através dos gráficos. Foram calculadas as diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais e multiespectrais, além disso, foi realizado o cálculo de correlação, através do algoritmo de Pearson, entre as assinaturas obtidas pelo método proposto (PNT) e o método convencional (razão entre bandas) e testes de hipótese para média e variância, com um nível de confiança de 95%,

A utilização dos testes de hipótese teve como objetivo avaliar se os resultados obtidos apresentam diferença significativa, ou seja, se o método proposto e o convencional, que utiliza a razão entre bandas, apresentam diferença estatisticamente significativa. Por isso foram avaliados através de testes, para as variâncias das assinaturas espectrais analisadas.

Através da *toolbox* HyperSpectral desenvolvido por Paclik et al. (2005), foi utilizado o algoritmo SAM para determinar o grau de similaridade entre curvas espectrais. De acordo com Novo (2010), esse algoritmo que determina a similaridade espectral entre dois espectros, a partir do ângulo entre eles em todas as bandas espectrais, tratando os espectros como vetores em um espaço de dimensionalidade igual ao número de bandas espectrais, assim o SAM não é sensível a diferenças de amplitude entre as assinaturas.

Figura 10 - Função de reamostragem para o sensor OLI.



Fonte: ENVI 5.

6. RESULTADOS

Para o processamento da imagem foram escolhidos 10 *pixels* ao longo da imagem, Figura 11. Esses pontos, Tabela 6, foram escolhidos a partir de análise visual da imagem, buscando sempre utilizar os *pixels* com um maior nível de pureza. Foram escolhidos 4 *pixels* de solo exposto, sendo 1 as margens do Rio Capibaribe e as demais ao longo da rodovia BR-101, 4 pontos de cobertura metálica e 2 pontos com cobertura de asfáltica.

Tabela 6. Tabela de superfícies utilizadas.

Pixel	Latitude	Longitude	Material
1	-8,03	-34,92	Solo Exposto Arenoso
2	-8,09	-34,93	Telha metálica
3	-8,09	-34,94	Asfalto
4	-8,14	-34,95	Solo Exposto Argiloso
5	-8,16	-34,94	Telha metálica
6	-8,17	-34,95	Asfalto
7	-8,22	-34,99	Telha metálica
8	-8,24	-35,00	Telha metálica
9	-8,23	-34,99	Solo Exposto Argiloso
10	-8,23	-35,00	Solo Exposto Argiloso

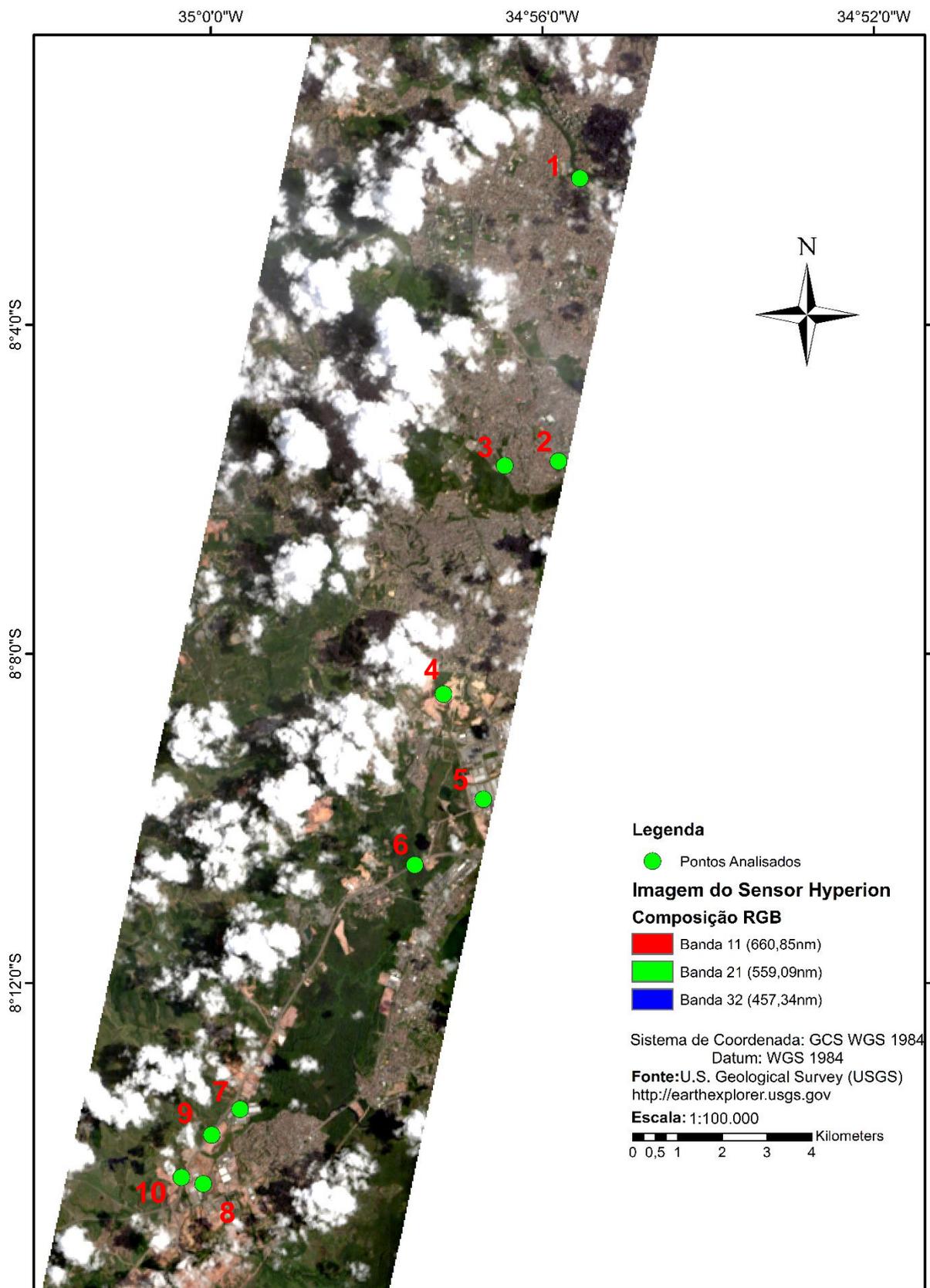
6.1 Processamento do Arquivos Binário

A partir do arquivo binário disponibilizado pelo CPTEC/INPE com a previsão dos valores para o vapor d'água no dia 28, para os horários de 9 e 12 UTC, foi utilizado o algoritmo adaptado para leitura e interpolação dos dados (Anexo A). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores Interpolados para o vapor d'água dos *pixels* selecionados

Pixel	9 (UTC)	12 (UTC)	Satélite
1	3,26	3,62	3,57
2	3,26	3,63	3,58
3	3,27	3,63	3,58
4	3,26	3,63	3,58
5	3,26	3,63	3,58
6	3,26	3,63	3,58
7	3,27	3,63	3,58
8	3,27	3,64	3,59
9	3,27	3,63	3,59
10	3,27	3,63	3,58

Figura 11 - *Pixels* utilizados para extração das assinaturas espectrais



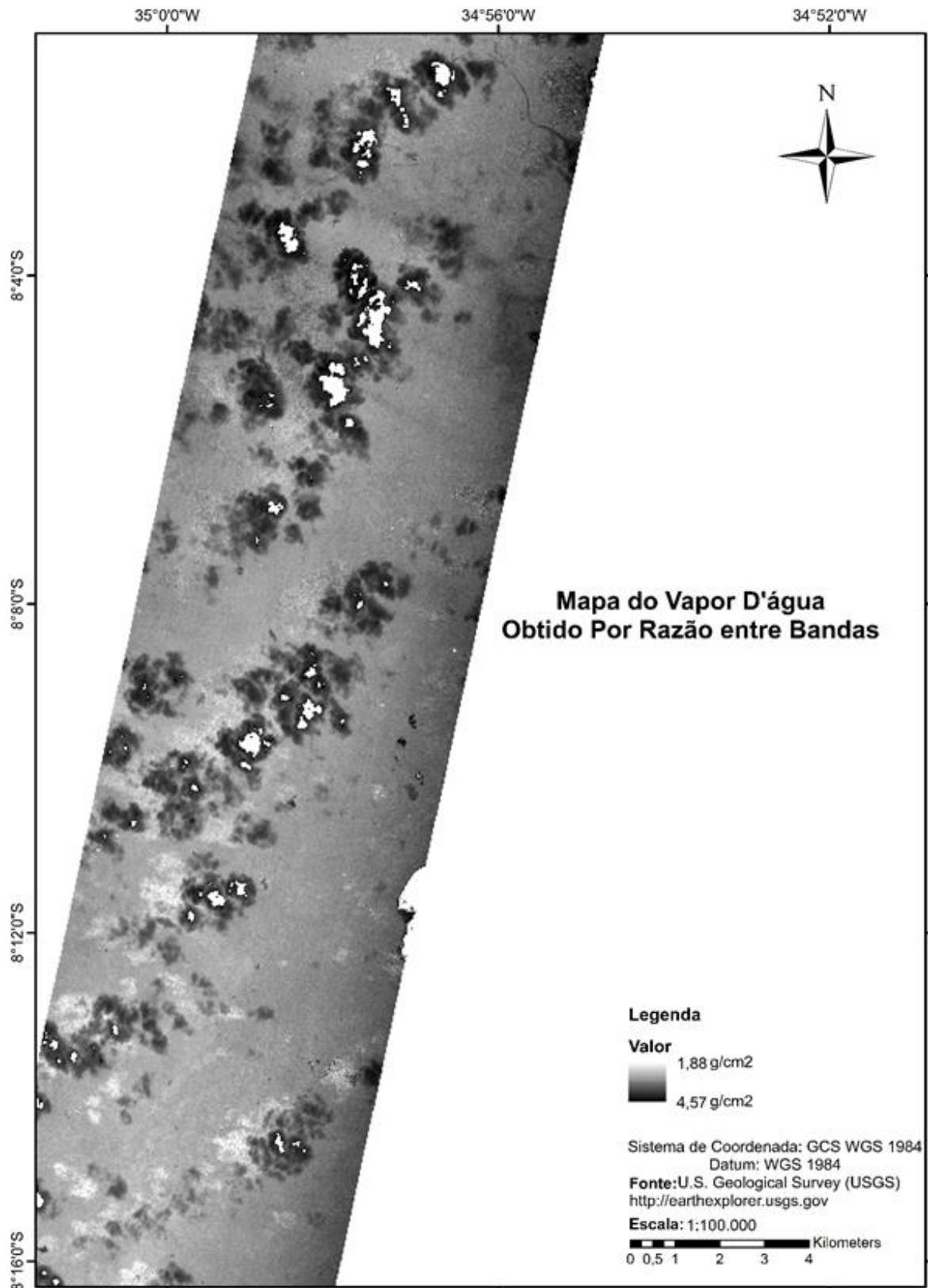
6.2 Correção atmosférica

Para a correção atmosférica das imagens utilizando o método convencional (razão entre bandas), foi escolhida a região de 0,82 μm , como referência para o cálculo do vapor d'água. Para a imagem 1, o valor médio da variável foi de 3,11 g/cm^2 , com um desvio padrão de 0,54 g/cm^2 , os valores máximos e mínimos foram respectivamente, 4,55 g/cm^2 e 1,88 g/cm^2 , a distribuição do vapor d'água pode ser observado na Figura 12. Os valores obtidos pela técnica de razão entre bandas e pelo modelo PNT, para os *pixels* analisados, estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Valores de vapor d'água obtidos pela técnica de razão entre bandas e modelo de PNT

<i>Pixel</i>	Material	Razão entre Bandas	Modelo de PNT
1	Solo Exposto Arenoso	3,76	3,57
2	Telha Metálica	3,60	3,58
3	Asfalto	3,91	3,58
4	Solo Exposto Argiloso	3,93	3,58
5	Telha Metálica	3,70	3,58
6	Asfalto	3,88	3,58
7	Telha Metálica	4,19	3,58
8	Telha Metálica	4,23	3,59
9	Solo Exposto Argiloso	4,16	3,59
10	Solo Exposto Argiloso	4,20	3,58

Figura 12 - Imagem de Vapor D'água Obtida pela Técnica de Razão entre bandas.



6.3 Análise das Assinaturas espectrais

Após a extração dos valores de vapor d'água dos arquivos binários, foi realizada apenas uma correção, isso foi necessário, já que não é possível ajustar o valor aplicado a imagem com um número com precisão maior que duas casas decimais, e esse foi o caso, já que com os valores obtidos pelo PNT não seria possível aplicar valores diferentes de 0,87, o qual foi utilizado para correção. Como pode ser observado nos gráficos a seguir, as assinaturas espectrais da imagem apenas calibrada radiométricamente, não se aproxima, especialmente na região do visível, do padrão de assinatura apresentada após a correção.

Na grande maioria das assinaturas houveram pequenas diferenças na região do infravermelho médio, acima de 2,00 μm , como pode ser observado nas assinaturas espectrais dos *pixels* 2 a 10, Figuras 14 a 22. Na região do infravermelho próximo, ocorreu em todas as assinaturas utilizando o método proposto, duas grandes discrepâncias na resposta espectral na banda da região de 1,124 μm , nessa o valor da assinatura foi reduzido para 0 em todas as bandas, e na banda adjacente de 1,134 μm foram registrados grandes picos de resposta, essas diferenças podem ter sido causadas por algum problema na correção gerada em função do uso do fator multiplicativo. Mesmo com os picos de baixa e alta respostas, ocorreram pequenas alterações nessa região.

Na região do visível ocorreram diferenças mais significantes nos *pixels* 2 e 4, Figuras 14 e 16, telha metálica e solo exposto argiloso, respectivamente. Esses desvios comprovam que a variação do vapor d'água influi, também na resposta espectral dos alvos na região do visível, potencializando o efeito provocado pelos aerossóis e outras partícula de maior dimensão.

Figura 13 - Assinatura Espectral do *Pixel 1* (Solo Exposto Arenoso)

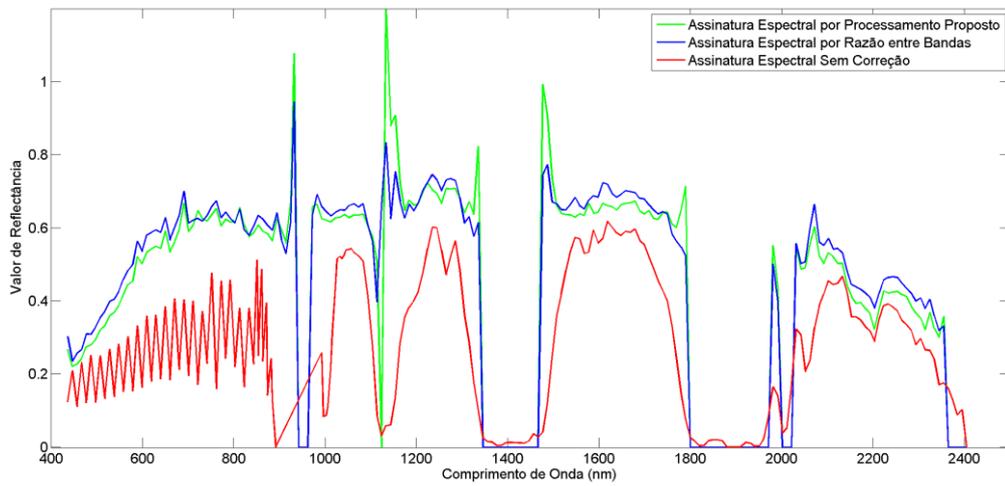


Figura 14 - Assinatura Espectral do *Pixel 2* (Telha Metálica)

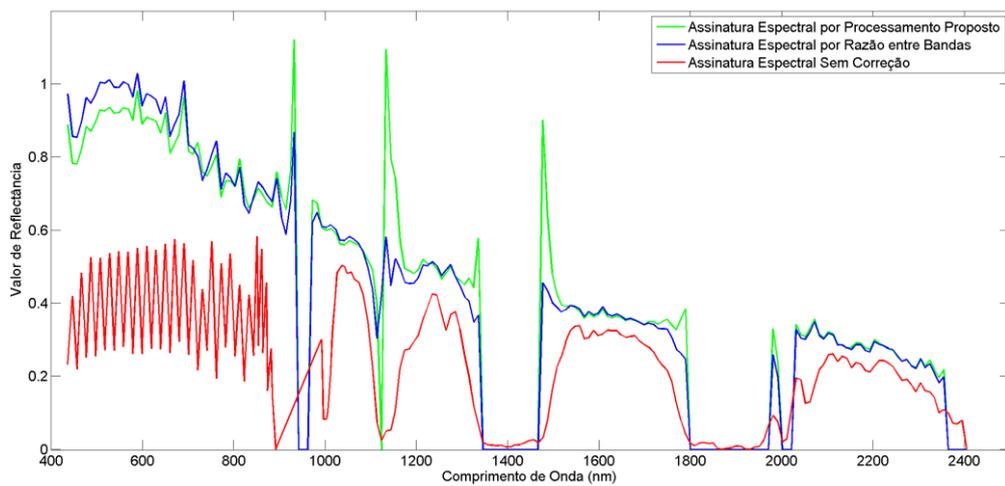


Figura 15 - Assinatura Espectral do *Pixel 3* (Asfalto)

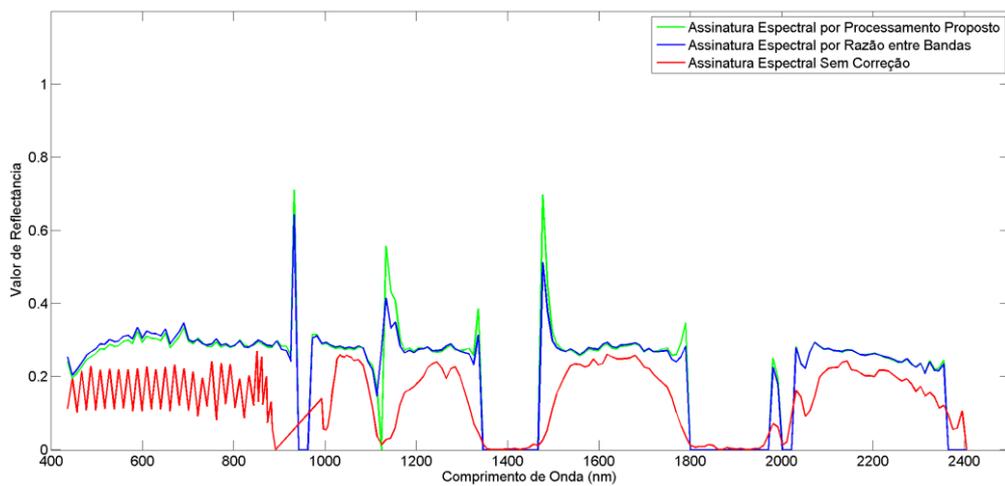


Figura 16 - Assinatura Espectral do *Pixel 4* (Solo Exposto Argiloso)

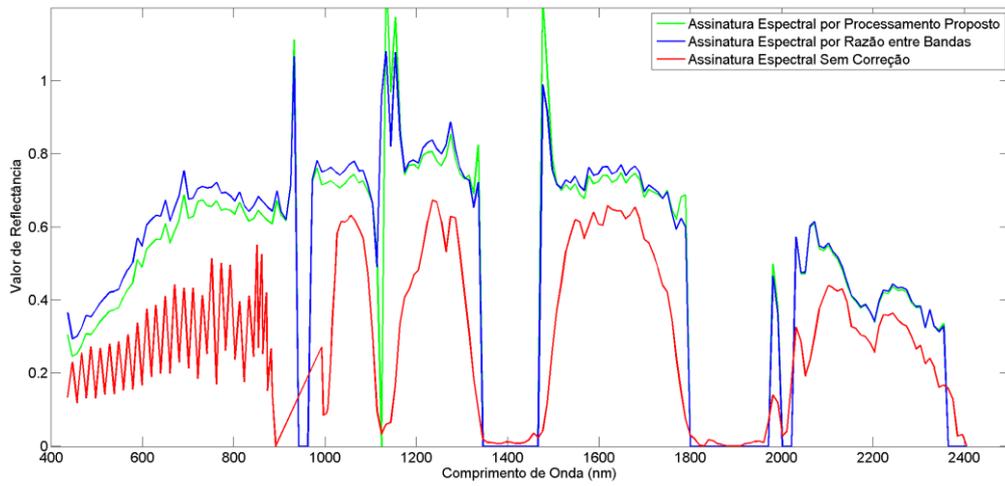


Figura 17 - Assinatura Espectral do *Pixel 5* (Telha Metálica)

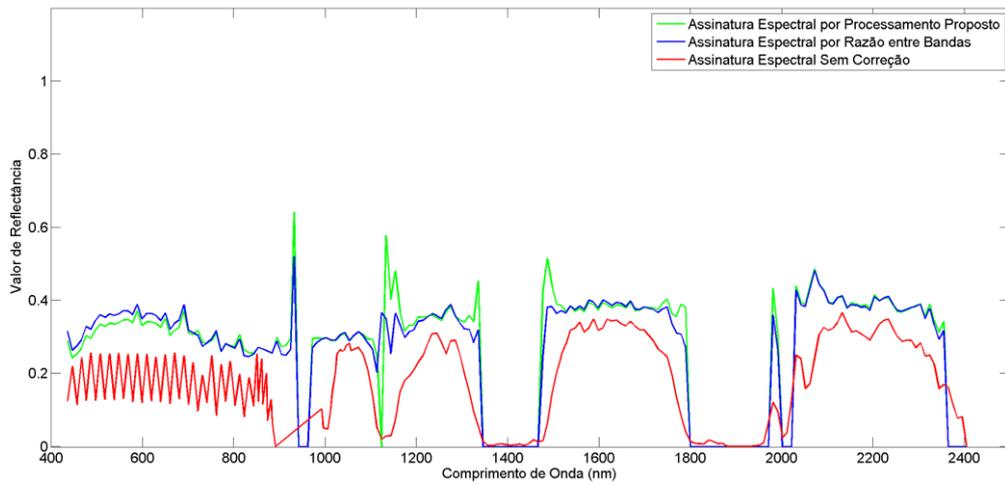


Figura 18 - Assinatura Espectral do *Pixel 6* (Asfalto)

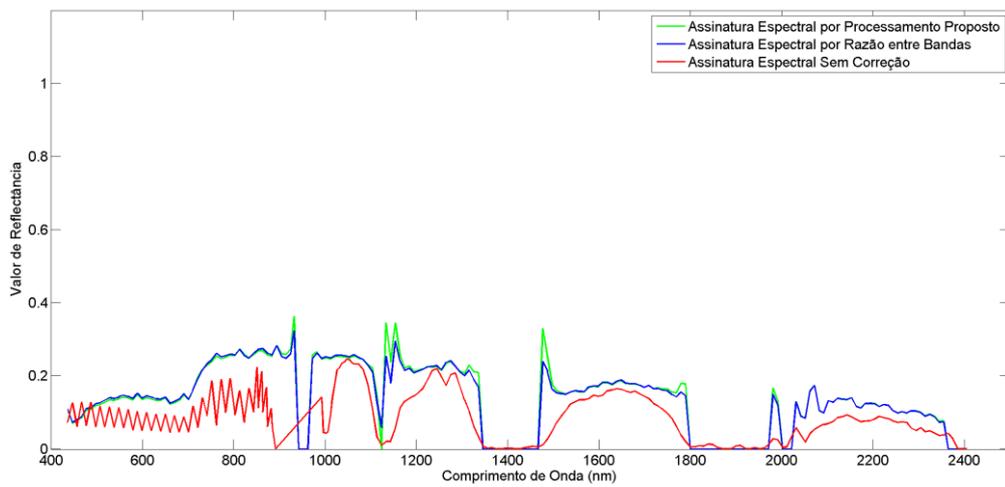


Figura 19 - Assinatura Espectral do *Pixel 7* (Telha Metálica)

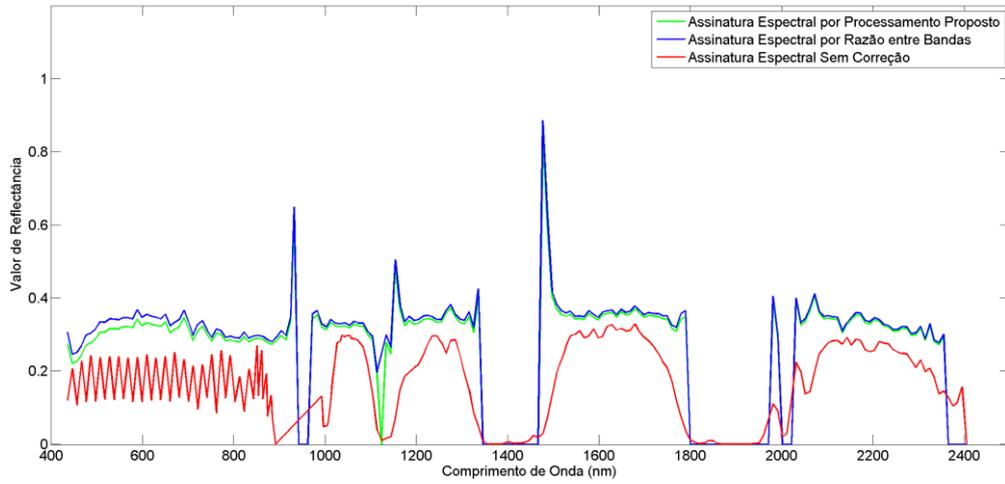


Figura 20 - Assinatura Espectral do *Pixel 8* (Telha Metálica)

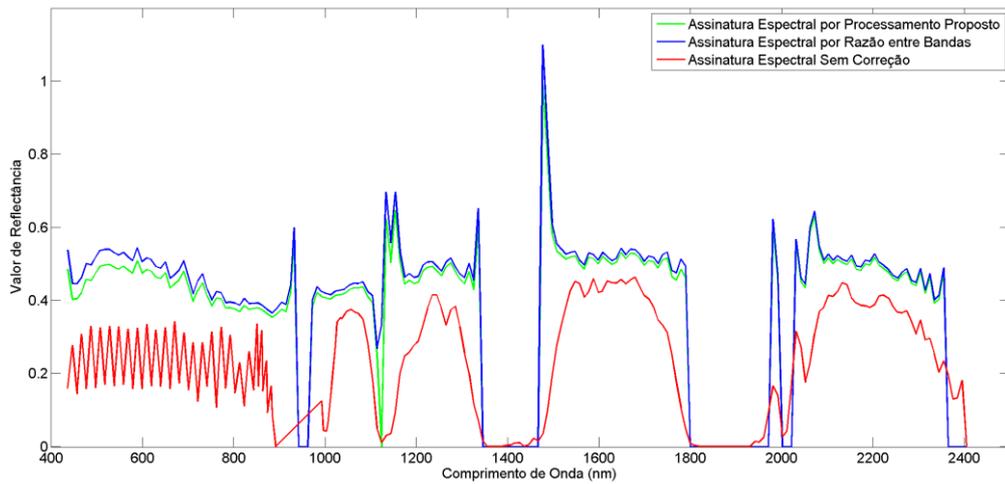


Figura 21 - Assinatura Espectral do *Pixel 9* (Solo Exposto Argiloso)

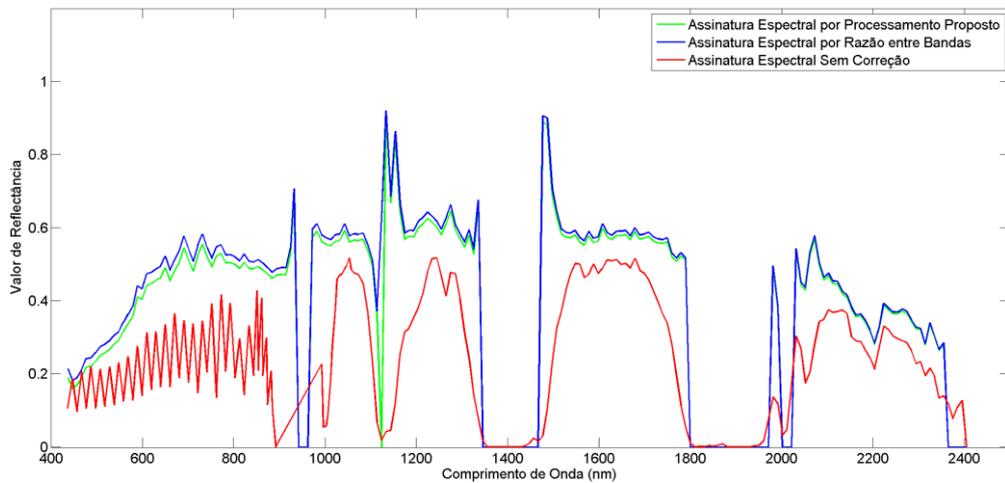
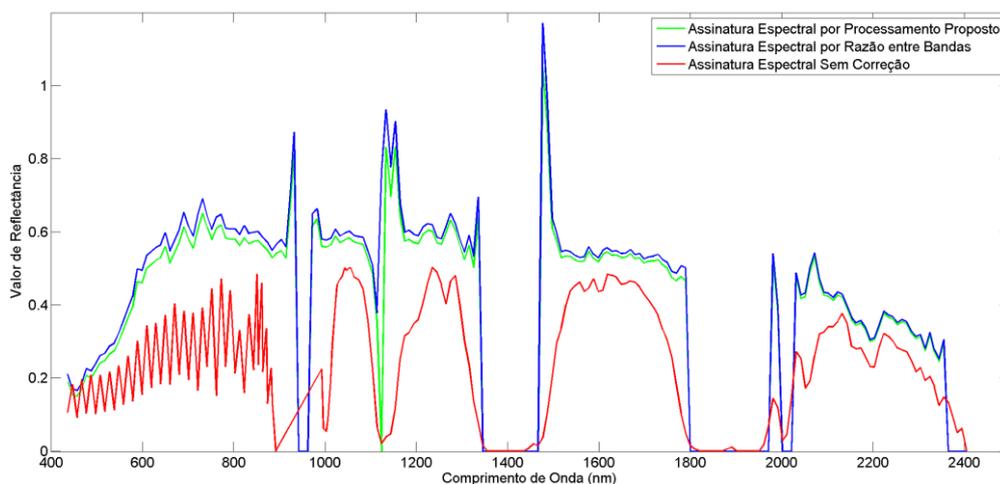


Figura 22 - Assinatura Espectral do *Pixel* 10 (Solo Exposto Argiloso)

Através da rotina desenvolvida no *software* Matlab, foram calculadas as diferenças entre as assinaturas obtidas entre os dois métodos (PNT – Razão entre Bandas), Tabela 9, em função da reflectância. Como pode ser observado, os valores médios das diferenças não foram superior a 0,017, ou 1%. Os desvios padrões também não apresentaram diferenças superiores a 0,0796 ou 7%.

Tabela 9. Diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais obtidas pelos dois métodos.

Pixel	Material	Diferenças Médias	Desvio Padrão
1	Solo Exposto Arenoso	-0,0102	0,0722
2	Telha Metálica	0,0051	0,0769
3	Asfalto	0,0013	0,0300
4	Solo Exposto Argiloso	-0,0168	0,0796
5	Telha Metálica	0,0049	0,0430
6	Asfalto	0,0019	0,0132
7	Telha Metálica	-0,0109	0,0195
8	Telha Metálica	-0,0175	0,0277
9	Solo Exposto Argiloso	-0,0158	0,0458
10	Solo Exposto Argiloso	-0,0209	0,0573

Foram analisadas ainda, as diferenças médias no azul, verde, vermelho e infravermelho entre os métodos e a imagem apenas calibrada radiométricamente. A Tabela 10, apresenta os valores obtidos para cada pixel para o método proposto e a imagem calibrada. A Tabela 11 contém as diferenças médias encontradas entre o

método de razão entre bandas e a imagem apenas calibrada. Como pode ser observado nas Figuras 23 e 24, a região do azul apresentou as menores diferenças entre os métodos e a imagem calibrada, e as maiores diferenças foram encontradas nas regiões do verde e vermelho.

Figura 23 - Diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais obtidas pelo método proposto e imagem calibrada

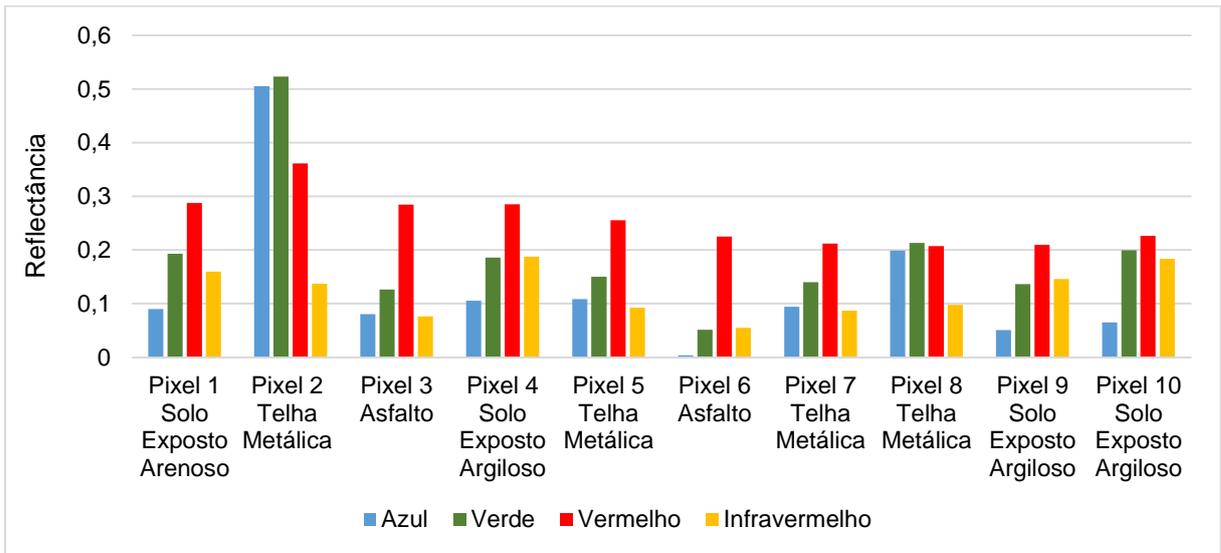
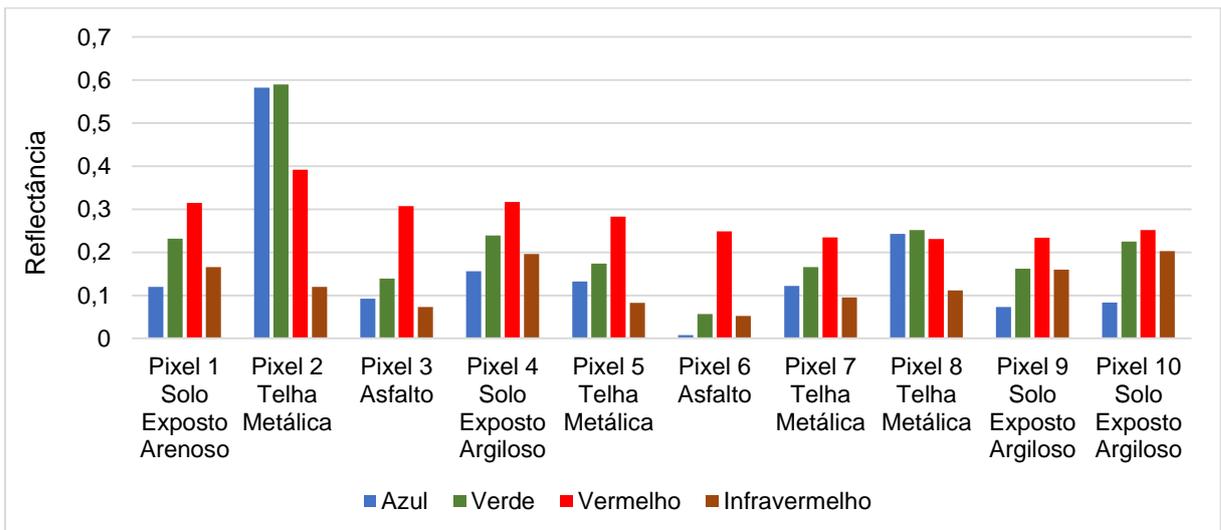


Figura 24 - Diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais obtidas pelo método convencional e imagem calibrada.



Além das diferenças médias foram calculadas as correlações entre cada as assinaturas obtidas para cada método, através do método de Pearson, e foram geradas equações de regressão linear, para as assinaturas. Para isso (assim como para geração dos gráficos e obtenção das demais estatísticas) foi desenvolvido um *script* no *software* Matlab (Apêndice C).

Entre as assinaturas analisadas, a que apresentou o menor valor de correlação, foi a assinatura do *pixel* 5 (telha metálica). Essa assinatura obteve um valor de correlação 0,9611. A seguir estão descritos, Tabela 10, os valores de correlação entre as assinaturas obtidas pelos dois métodos, os gráficos resultantes estão contidos no Apêndice D.

Tabela 10. Correlação entre as assinaturas espectrais obtidas entre os métodos analisados.

Pixel	Material	Correlação
1	Solo Exposto Arenoso	0,9652
2	Telha Metálica	0,9687
3	Asfalto	0,9743
4	Solo Exposto Argiloso	0,9668
5	Telha Metálica	0,9611
6	Asfalto	0,9901
7	Telha Metálica	0,9923
8	Telha Metálica	0,9926
9	Solo Exposto Argiloso	0,9824
10	Solo Exposto Argiloso	0,9754

Também foram analisadas as correlações em cada região do espectro eletromagnético para assinaturas hiperespectrais. As Figuras 25, 26, 27, e 28, mostram os índices de correlação, entre os métodos e entre cada um dos métodos e a imagem calibrada, para cada um dos *pixels* analisados. Como pode ser observado, a região do azul é mais crítica. Nessa os valores de correlação entre as imagens corrigidas entre as duas técnicas e a imagem calibrada, apresentaram os menores valores de correlação, mesmo essa região apresentando as menores diferença médias.

Figura 25 - Correlação entre os métodos e a imagem calibrada e entre o método proposto e o convencional na região do azul (0,436 – 0,500 μm)

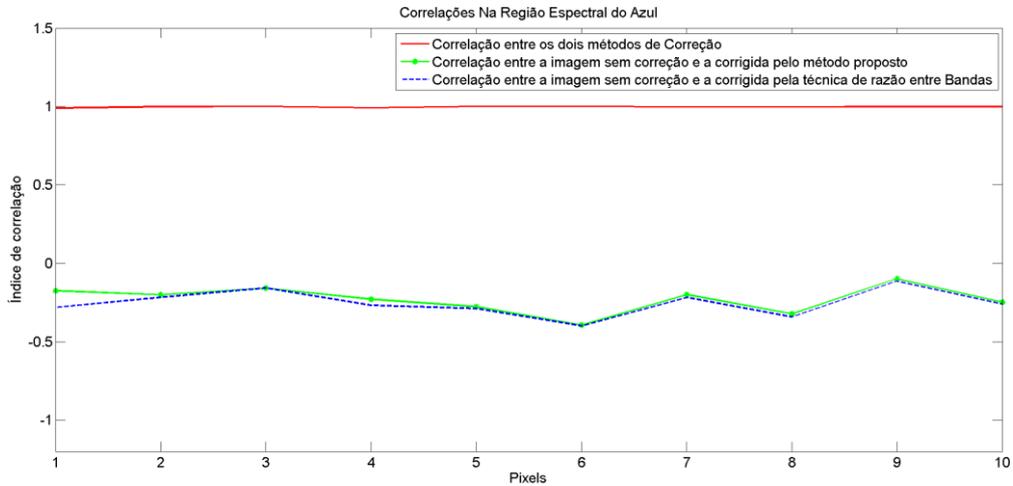


Figura 26 - Correlação entre os métodos e a imagem calibrada e entre o método proposto e o convencional na região do verde (0,500 – 0,600 μm)

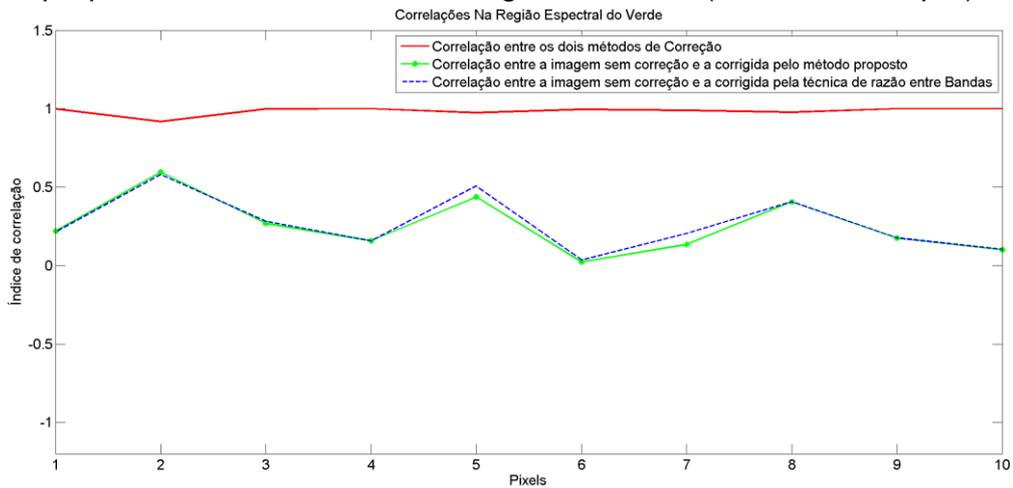


Figura 27 - Correlação entre os métodos e a imagem calibrada e entre o método proposto e o convencional na região do vermelho (0,600 – 0,750 μm)

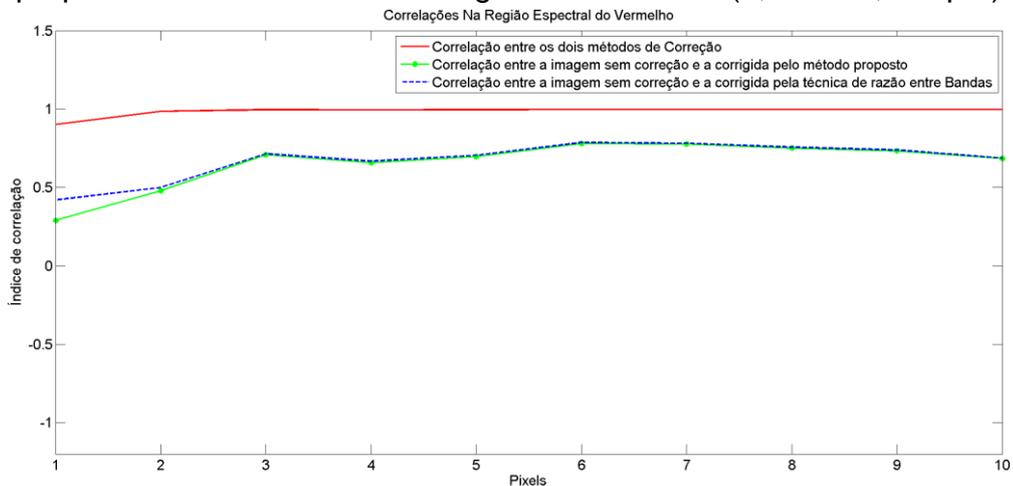
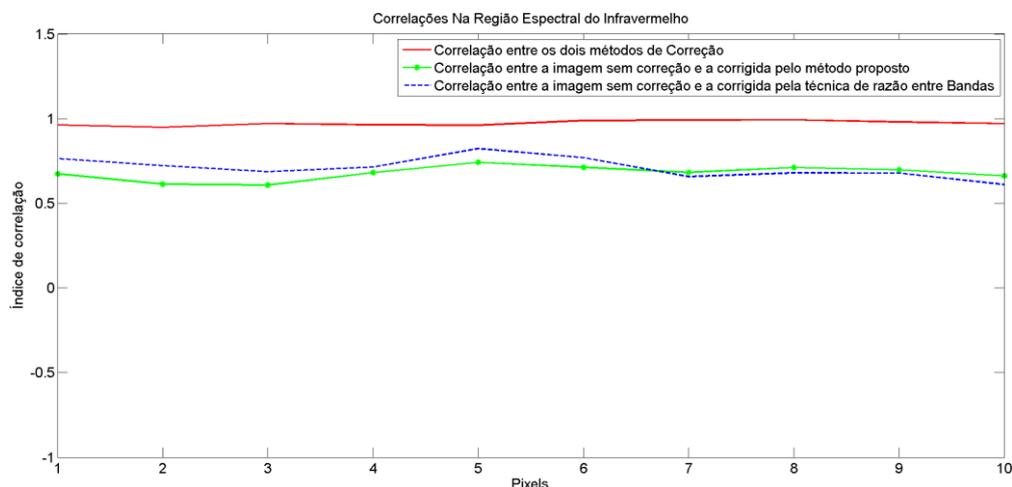


Figura 28 - Correlação entre os métodos e a imagem calibrada e entre o método proposto e o convencional na região do infravermelho (0,750 – 2.400 μm)



O teste de hipótese foi utilizado para avaliar se as assinaturas seguem uma mesma distribuição. Para isso foi utilizado o teste Ansari-Bradley (MATLAB, 2014) onde a hipótese H_0 é que os dados seguem uma mesma distribuição com mesma mediana e com variâncias iguais. Para realização do teste foi utilizada a função *ansaribradley* presente no Matlab. Em todas as assinaturas a hipótese nula foi aceita, com um nível de significância de 5%, sendo assim, aceita-se a hipótese nula. De acordo com o teste, as assinaturas seguem uma mesma distribuição e possuem variâncias e medianas iguais. Na Tabela 11, estão descritos os p-valores para cada uma das assinaturas analisadas.

Tabela 11. P-valores obtidos pelo teste Ansari-Bradley

Pixel	Material	p-valor(visível)	p-valor (NIR)
1	Solo Exposto Arenoso	1	0,9781
2	Telha Metálica	0,9572	0,9697
3	Asfalto	1	0,9363
4	Solo Exposto Argiloso	1	0,9655
5	Telha Metálica	0,9572	0,9969
6	Asfalto	0,9572	0,9666
7	Telha Metálica	1	0,9426
8	Telha Metálica	0,9786	0,9530
9	Solo Exposto Argiloso	1	0,9551
10	Solo Exposto Argiloso	1	0,9551

Como é possível observar na Tabela 12, o pixel 8 apresentou a menor diferença entre as curvas pelos dois métodos com um ângulo de 0,0606. De forma geral todas as assinaturas dos *pixels* analisados apresentaram pequenas diferenças, como pôde ser comprovado pelo algoritmo SAM.

Tabela 12. Valores de ângulo entre as assinaturas obtidas entre os dois métodos.

Pixel	Material	Ângulo
1	Solo Exposto Arenoso	0,1395
2	Telha Metálica	0,1481
3	Asfalto	0,1181
4	Solo Exposto Argiloso	0,1406
5	Telha Metálica	0,1364
6	Asfalto	0,0799
7	Telha Metálica	0,0632
8	Telha Metálica	0,0606
9	Solo Exposto Argiloso	0,1004
10	Solo Exposto Argiloso	0,1210

6.4 Simulação de Bandas do Sensor OLI - Landsat-8

Após a correção da imagem através as duas metodologias, foi utilizada a função *Spectral Resampling* do ENVI, para avaliar as correções em uma imagem multiespectral. Como pode ser observado nas figuras abaixo, não houveram grandes diferenças entre as assinaturas obtidas pelos dois métodos. Contudo, em relação a assinatura obtida sem a realização da correção atmosférica, houveram diferenças consideráveis. Além disso, para a banda na região de absorção do sensor OLI, todas as assinaturas registraram valores de 0, já que após a correção, nessa região, o valor da reflectância é zerado, por estar em uma região de absorção.

Em geral as assinaturas espectrais obtidas das imagens corrigidas pelos dois métodos não apresentaram grande distinção, como pode ser observado na Tabela 13, sobretudo na região do infravermelho, apenas no *pixel* 4, essa diferença foi um pouco superior. Nessa região a diferença entre os *pixels* obtidos pelos métodos não apresentou resultados muito diferentes em relação a imagem apenas calibrada, diferente das assinaturas hiperespectrais, nas quais houveram diferenças mais significativas.

Figura 29 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 1* (Solo Exposto Arenoso)

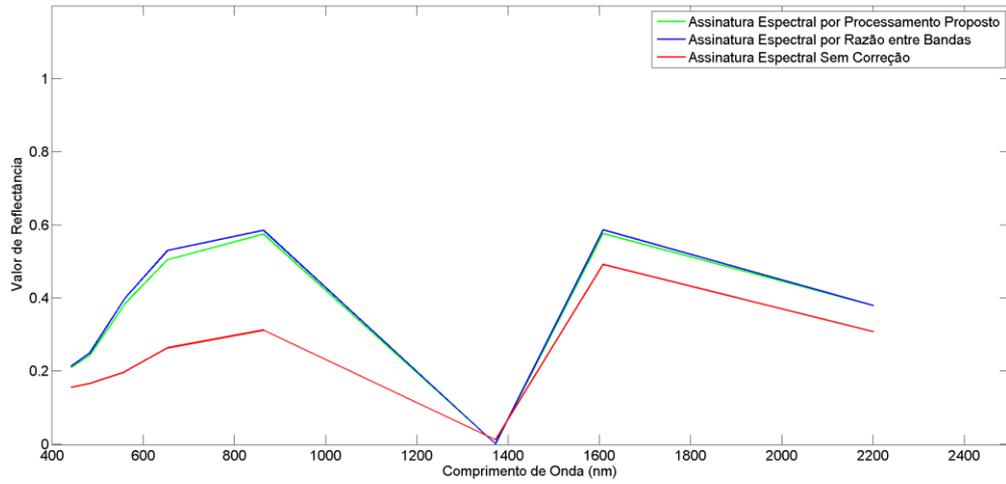


Figura 30 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 2* (Telha Metálica)

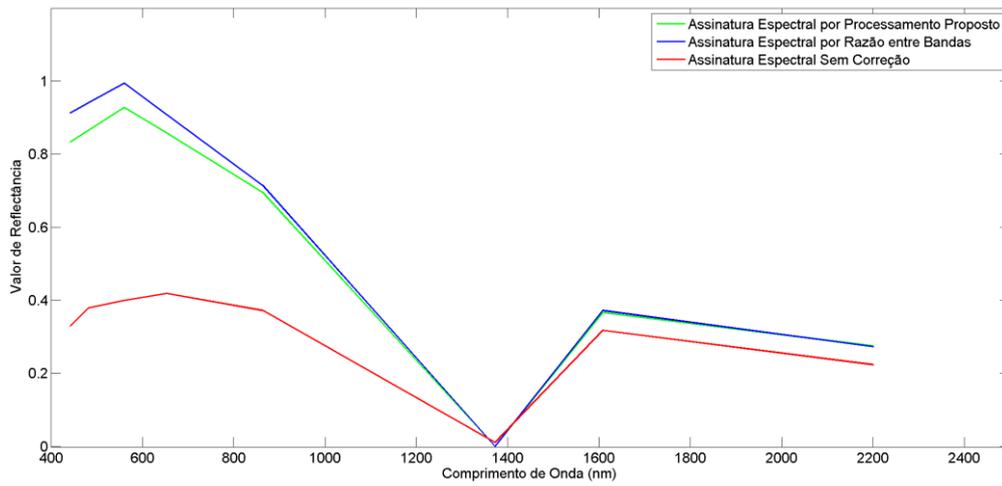


Figura 31 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 3* (Asfalto)

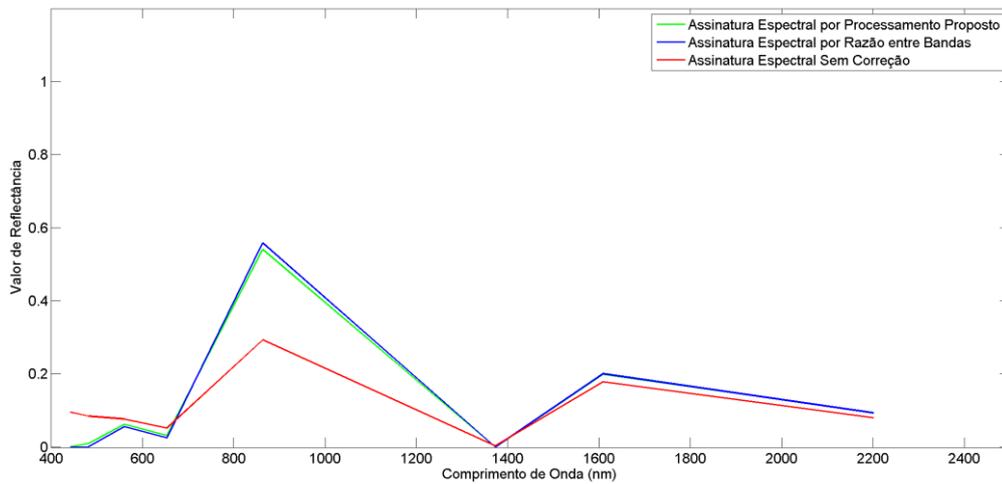


Figura 32 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 4* (Solo Exposto Argiloso)

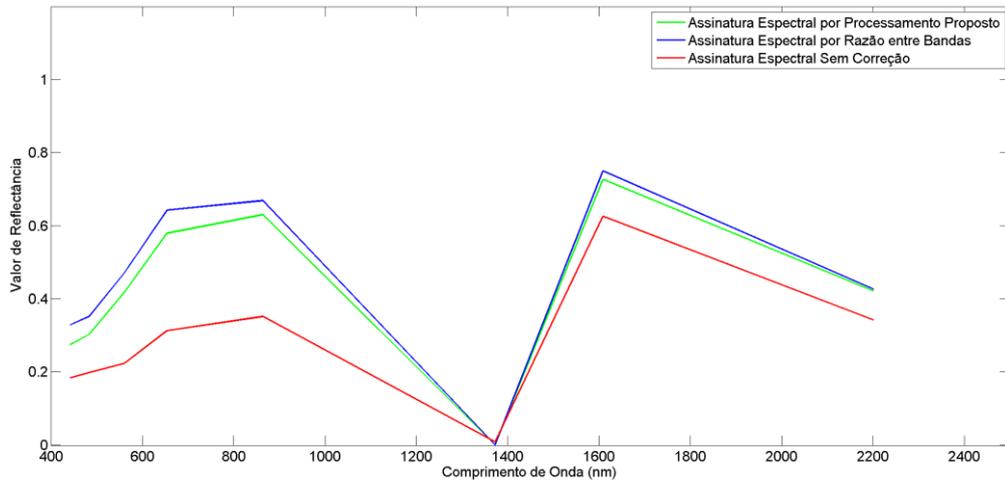


Figura 33 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 5* (Telha Metálica)

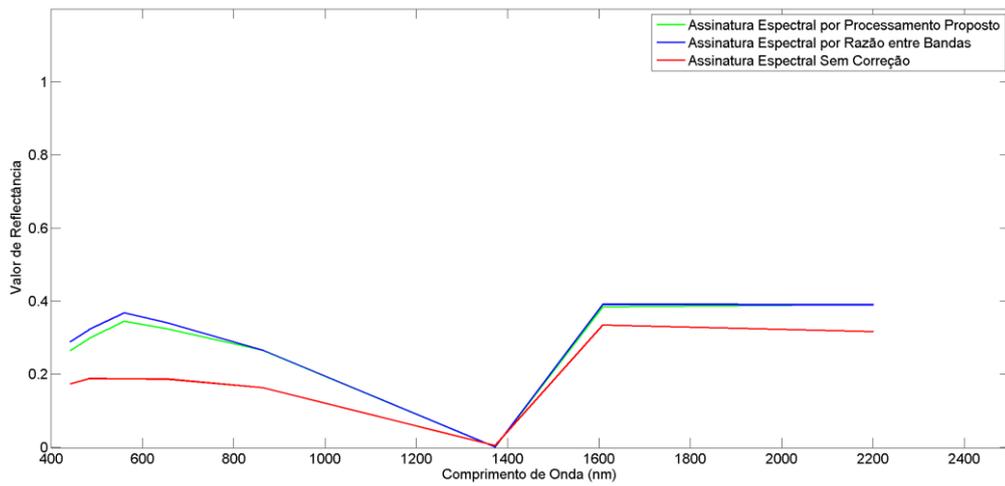


Figura 34 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 6* (Asfalto)

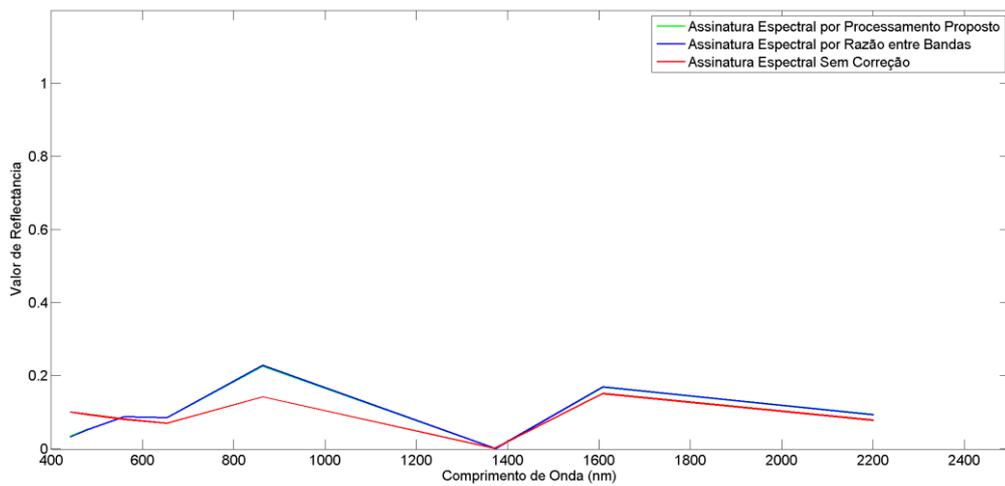


Figura 35 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 7* (Telha Metálica)

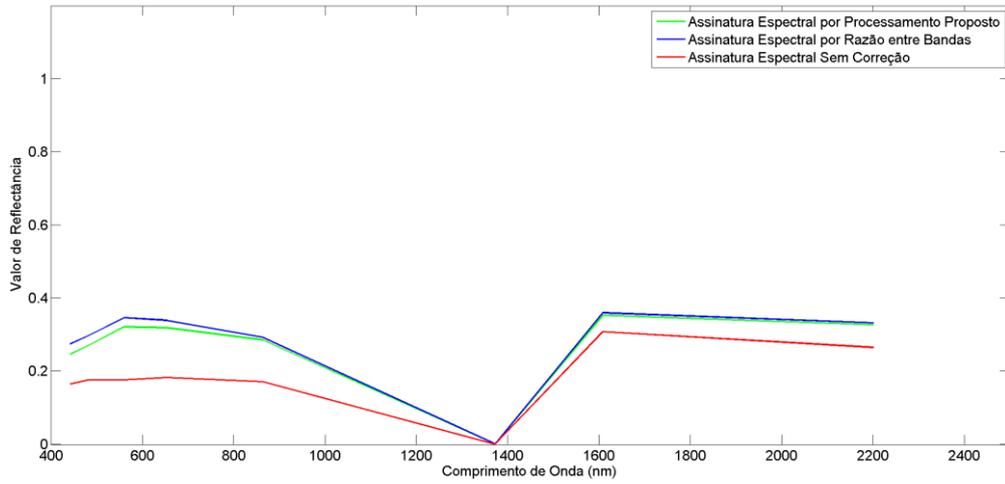


Figura 36 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 8* (Telha Metálica)

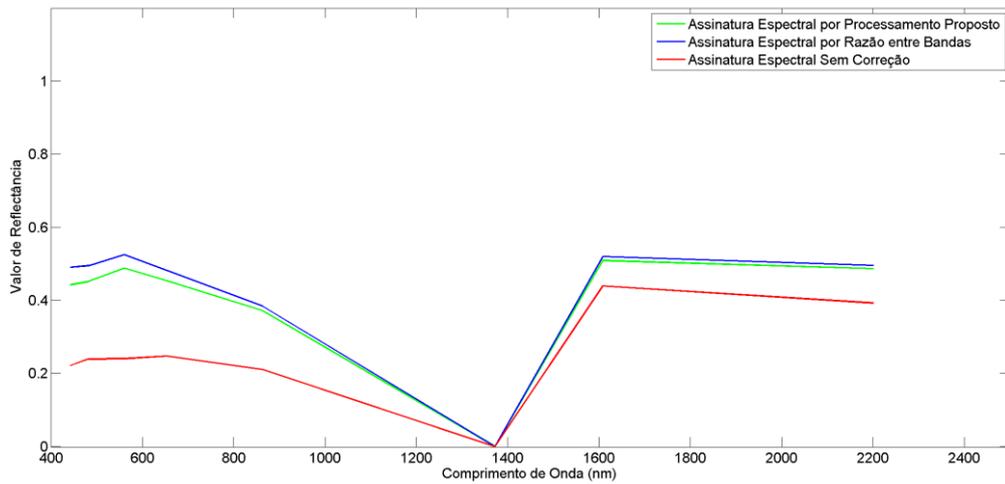


Figura 37 - Assinatura Multiespectral do *Pixel 9* (Solo Exposto Argiloso)

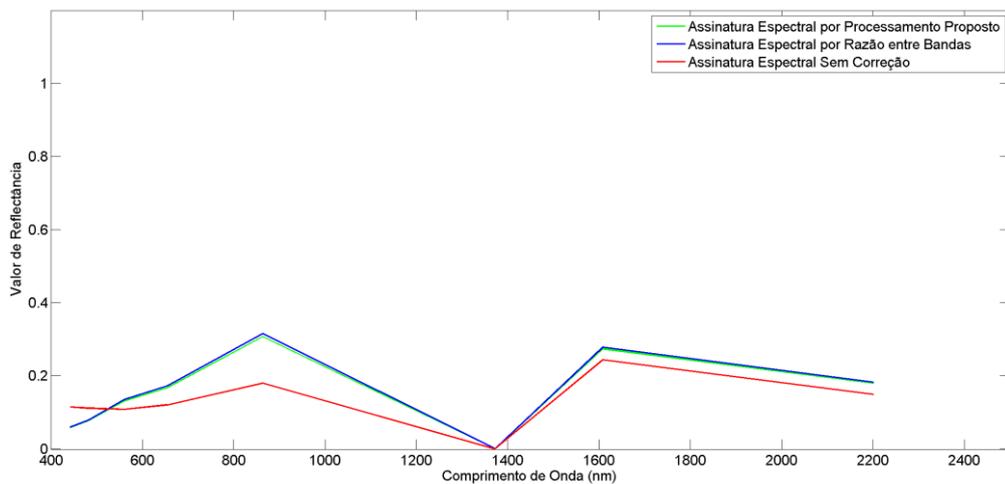
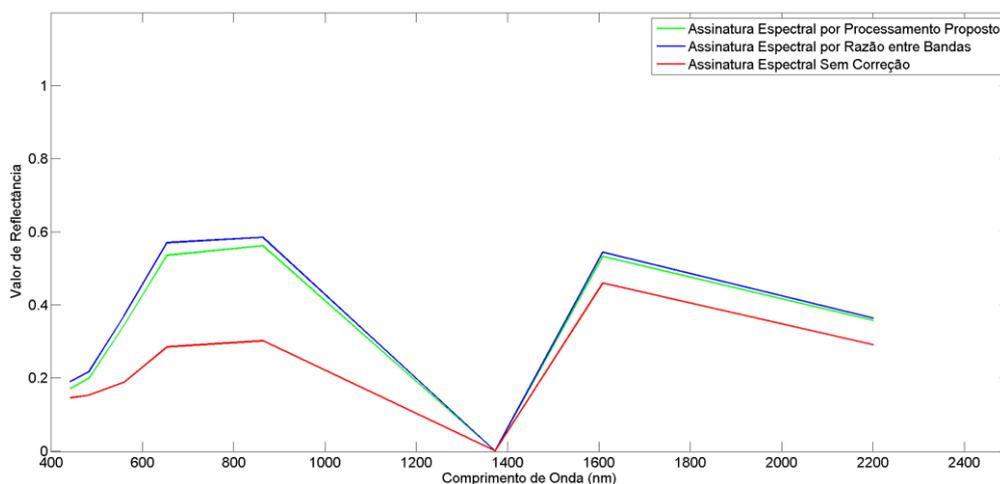


Figura 38 - Assinatura Multiespectral do *Pixel* 10 (Solo Exposto Argiloso)



Nos *pixels* 3 e 6 (Asfalto), Figuras 31 e 34, as menores diferenças foram obtidas, não apenas para essa região, mas também para todo o espectro, como pode ser observado na Tabela 13, que apresenta as médias e desvios padrão das diferenças entre as assinaturas espectrais dos dois métodos propostos.

Assim como nas assinaturas hiperespectrais, na imagem simulada do sensor OLI foram obtidos altos índices de correlação, esses valores estão descritos na Tabela 14. Os gráficos de correlação das assinaturas obtidas estão presentes no Apêndice E.

Tabela 13. Diferenças entre as assinaturas multiespectrais obtidas pelos dois métodos.

<i>Pixel</i>	Material	Médias	Desvio Padrão
1	Solo Exposto Arenoso	-0,0101	0,0086
2	Telha Metálica	-0,0393	0,0337
3	Asfalto	0,0013	0,0083
4	Solo Exposto Argiloso	-0,0382	0,0234
5	Telha Metálica	-0,013	0,0112
6	Asfalto	-0,0002	0,0014
7	Telha Metálica	-0,016	0,0109
8	Telha Metálica	-0,0247	0,0171
9	Solo Exposto Argiloso	-0,0037	0,0111
10	Solo Exposto Argiloso	-0,0186	0,0024

Diferentemente das assinaturas hiperespectrais, nas assinaturas multiespectrais, o pixel 4 (Solo Exposto Argiloso), apresentou a menor correlação entre os métodos, e os pixels 6 (Asfalto) e 9 (Solo Exposto Argiloso) apresentaram as maiores correlações.

Tabela 14. Valores de correlação para as assinaturas obtidas na imagem multiespectral simulada.

Pixel	Material	Correlação
1	Solo Exposto Arenoso	0,9994
2	Telha Metálica	0,9991
3	Asfalto	0,9998
4	Solo Exposto Argiloso	0,9951
5	Telha Metálica	0,9961
6	Asfalto	0,9999
7	Telha Metálica	0,9959
8	Telha Metálica	0,9962
9	Solo Exposto Argiloso	0,9999
10	Solo Exposto Argiloso	0,9989

Como é possível observar na Tabela 15, o pixel 6 apresentou a menor diferença entre as curvas pelos dois métodos com um ângulo de 0,0097. De forma geral todas as assinaturas dos *pixels* analisados apresentaram pequenas diferenças, como pôde ser comprovado pelo algoritmo SAM.

Tabela 15. Valores de ângulo entre as assinaturas obtidas entre os dois métodos.

Pixel	Material	Ângulo
1	Solo Exposto Arenoso	0,0153
2	Telha Metálica	0,022
3	Asfalto	0,0303
4	Solo Exposto Argiloso	0,0458
5	Telha Metálica	0,0317
6	Asfalto	0,0097
7	Telha Metálica	0,0317
8	Telha Metálica	0,0298
9	Solo Exposto Argiloso	0,0074
10	Solo Exposto Argiloso	0,0226

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso do vapor d'água atmosférico obtido por modelo de PNT, na correção atmosférica de imagens de Sensoriamento Remoto. Para atingir esse objetivo foram realizadas comparações entre a correção utilizando os dados provenientes do PNT e da técnica de razão entre bandas, através de testes estatísticos e do Spectral Angle Mapper.

Foi abordada no embasamento a possibilidade de uso de variáveis preditas pelos modelos de previsão de tempo, como forma de melhorar a precisão da correção atmosférica, devido aos problemas existentes nas técnicas de razão entre bandas.

Apesar da resolução espacial do modelo utilizado não ser adequado para a resolução da imagem analisada, os resultados obtidos foram consistentes, com semelhança entre o valor predito e o valor obtido através da técnica, especialmente no pixel 2, em que a diferença foi de apenas $0,02 \text{ g/cm}^2$. Com isso espera-se que com o uso de informações oriundos de modelos com melhor resolução espacial, é possível obter um satisfatório.

A utilização de valores de externos apresentou um tempo de processamento inferior ao obtido pela técnica de razão entre, mesmo que os valores numa condição ideal de funcionamento, fossem lidos e aplicados a cada *pixel*, o processo deve resultar em um método de correção mais rápido, do que o obtido pelo método de razão entre bandas.

As assinaturas obtidas pelos dois métodos, tanto nas assinaturas hiperespectrais, quanto nas assinaturas multiespectrais, apresentaram fortes diferenças, especialmente nas hiperespectrais, quando comparadas com as assinaturas que passaram apenas pelo processo de calibração radiométrica.

As assinaturas dos pixels analisados, apresentaram grande semelhança com diferenças médias entre os dois métodos não superiores a 1% e desvio padrão não superior a 8%. O ângulo entre as curvas apresentou resultados igualmente satisfatórios, não sendo superiores a 0,15 graus. Com esses resultados iniciais o

desempenho da técnica é satisfatório, e com grande potencial, já que ela pode ser aplicada em qualquer tipo de imagem, seja de sensor orbital ou aerotransportado, devido as características do modelo de previsão de tempo.

7.2 Recomendações

- A implementação nos algoritmos de correção atmosférica para incorporar os dados fornecidos pelos modelos de PNT e de outras fontes para o cálculo do vapor d'água;
- Avaliação do método em outras superfícies, como por exemplo, a vegetação já que essa pode adicionar um ruído na técnica de razão entre bandas.
- Utilização de um espectrorradiômetro para comparação dos resultados com dados obtidos localmente concomitantemente a passagem do satélite. Dessa forma será possível realizar uma avaliação da acurácia espectral dos métodos de correção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.W.; ANDERSON, G.P. 1996. **The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL**. Disponível em:< <http://www.gps.caltech.edu/~vijay/pdf/modrept.pdf>>.

ADLER–GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L. S.; LEVINE, R. Y.; BERK, A.; RICHTSMIEIER, S. C.; P.K. ACHARYAA, G.P.; ANDERSON, G.; FELDE, J.; GARDNER, M.; HOKE, L. S.; JEONG, B.; PUKALL, J.; MELLO, A.; RATKOWSKI H.; BURKE, H. 1999. **Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN4**. In: R. O. Green (Ed.), Summaries of the Eighth JPL Airborne Earth Science Workshop JPL Publication, Vol. 99–17. (pp.21–29) Pasadena, California: Jet Propul. Lab.1.

AGRAWAL, G.; SARUP, J. Comparision of QUAC and FLAASH Atmospheric Correction Modules on EO-1 Hyperion Data of Sanchi. **International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies**, 2011, vol. nº 4, Issue nº1, 176-186.

ANDRADE, G. O. **Alguns Aspectos do Quadro Natural do Nordeste**. Recife, SUDENE, 1977. 75p.

BAPTISTA, G. M. de M. Processamento de Dados Hiperespectrais. In: Paulo Roberto Meneses; Tati de Almeida. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, 2012, v. 1, p. 221-238.

BEVIS, M.; BUSINGERS, S.; HERRING, T.A.; ROCKEN, C.; ANTHES, R.A.; WARE, R.H. GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using Global Positioning System. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 97, p. 15787-15801, 1992.

BOCK, Y.; WILLIAMS, S. D. P. (1997), Integrated satellite interferometry in southern California, **Eos Trans. AGU**, vol. 78(29), 299–300.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Previsões sazonais utilizando o modelo ETA sobre a América do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, XII, 2004, Fortaleza-CE. CD de Anais, Fortaleza-CE, 2004.

CINTRA, R. S. C. **Implementação do Sistema Estatístico de Assimilação de Dados em Espaço Físico para o Modelo Global do CPTEC**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2008.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a Hidrologia**, Apostila da disciplina Hidrologia, UFRGS, Porto Alegre (RS), 2008.

ENNES, R. **Potencial Das Imagens Hiperespectrais Orbitais Na Detecção De Componentes Opticamente Ativos No Reservatório De Itupararanga**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente.

EVANS, J.M. 2011. **Ciclo da água**. U.S. Geological Survey. Acessado dia 17 de novembro de 2013. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>

FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW M. W.; BERK, A. Analysis of Hyperion Data with the FLAASH Atmospheric Correction Algorithm. **Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery IX**. SPIE Aerosense Conference, Orlando. 21-25 April 2003.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G.P.;GARDNER,J.A.; ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW M. W.; BERK, A. Water vapor retrieval using FLAASH atmospheric correction algorithm. In: **Proceedings of the spie defense and security symposium**, Orlando, Florida, 12-16 abril, 2004.

FERREIRA, M. S. **Inferência especial de *clorofila a* por redes neurais artificiais aplicadas a imagens multiespectrais e medidas tomadas *in situ***. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2011.

FERREIRA, S. P. **Estudo comparativo do pós-processamento estatístico aplicado ao modelo BRAMS**. 2011. 107f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GANDIN, L. **Objective analysis of meteorological fields**. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1963. 242p.

GAO, B.; MONTES, M. J.; DAVIS, C. O.; GOETZ, A. F.H. Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. **Remote Sensing of Environment**, 113 (2009) S17–S24

GAO, B.-C., HEIDEBRECHT, K. B., GOETZ, A. F. H.. Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data. In: **Remote Sensing of Environment**, 44 (1993), 165-178.

HADJIMITSIS, D.G.; PAPADAVID, G.; AGAPIOU, A.; THEMISTOCLEOUS, K.; HADJIMITSIS, M. G.; RETALIS, A.; MICHAELIDES, S.; CHRYSOULAKIS, N.; TOULIOS, L.; CLAYTON, C. R. I. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications : impact on vegetation indices. 2010, 89-95. In: **Natural Hazards And Earth System Science** 10 (1).

HILKER, T.; LYAPUSTIN, A. I.; TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J.; HALL, F. G.; WANG, Y. Remote sensing of tropical ecosystems: Atmospheric correction and cloud masking matter. **Remote Sensing of Environment**, 127, 370–384, 2012.

JIN, S.; LI, Z.; CHO, J. Integrated Water Vapor Field and Multiscale Variations over China from GPS Measurements. **Journal of Applied Meteorology Climatology**, 47, 3008–3015. 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JAMC1920.1>.

JUNIOR, J. Z.; GU, X.; GUYOT, G.; PINTO, H. S.; HAMADA, E.; ALMEIDA, C. A. S. de; PELLEGRINO, G. Q. **Estimativa do Conteúdo de Vapor d'Água a Partir da**

Radiação Solar Direta. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril, INPE, p. 979-980, 1996.

KAUFMAN, Y. J. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: **Theory and Applications of Optical Remote Sensing.** ASRAR, G. 1989, New York. John Wiley & Sons.

KAUFMAN, Y. J.; GAO, B. Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOS/MODIS. **IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING,** Vol. 30, Nº. 5, september, 1992.

KAWISHWAR, P. **Atmospheric Correction Models for Retrievals of Calibrated Spectral Profiles from Hyperion EO-1 Data.** 2007. Dissertação (Mestrado em Geoinformática). International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede, The Netherlands And Indian Institute Of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency (Nrsa), Department Of Space, Government Of India, Dehra Dun, India.

KRUSE, F. A. Preliminary results - hyperspectral mapping of coral reef systems using EO-1 Hyperion, Buck Island, U.S. Virgin Islands. In: **JPL Airborne Earth Science Workshop,** 12. 2003, Pasadena, USA. Proceedings. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory. p. 157-173. 2003.

KRUSE, F. A. Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder. In: **Summaries of 13th JPL Airborne Geoscience Workshop,** Jet Propulsion Lab, Pasadena, CA. 2004.

LI, Z.; FIELDING, E. J.; CROSS, P.; MULLER, J. Interferometric synthetic aperture radar atmospheric correction: GPS topography-dependent turbulence model. **Journal Of Geophysical Research,** Vol. 111, B02404, DOI:10.1029/2005JB003711, 2006.

LILLESAND, T. M. ; KIEFER, R. W. 1979. **Remote Sensing and Image Interpretation.** New York: John Wiley. ISBN 0 471 02609 3.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** New York: John Wiley e Sons Inc., 1994.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 2007. 4ª Edition. New York. John Wiley & Sons.

LORENC, A. C. Analysis Methods for numerical weather prediction. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society.** Vol. 112, p. 1177-1194, 1986.

MATHER, P. M.; KOCH, M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction.** 2011. 4th ed. ISBN 978-0-470-74239-6.

MATLAB. **Ansari-Bradley Test.** Acessado dia 15 de novembro de 2014. Disponível em: <http://www.mathworks.com/help/stats/ansaribradley.html#btqxcrw>

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, 2012, v. 1.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2010, 4ª edição, Blucher.

PACLIK, P.; VERZAKOV, S.; DUIN, R.P.W. **Hypertools 2.0: the toolbox for spectral image analysis**, technical report, ICT Group, TU Delft, The Netherlands, November 2005.

PEARLMAN, J.; CARMAN, S.; SEGAL, C.; JARECKE, P.; BARRY, P. **Overview of the Hyperion Imaging Spectrometer for the NASA EO-1 Mission**. 2003.

POPOVIC, J. **ETA Model in Weather Forecast Master of Science Thesis ETA Model in Weather Forecast**. Dissertação (Mestrado em Análise Numérica). Royal Institute of Technology, 2006.

QU, Z.; KINDEL, B. C.; GOETZ, A. F. H. The high accuracy atmospheric correction for hyperspectral data (HATCH) model. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Vol. 41, p.1223–1231, 2003.

RICHTER, R. Atmospheric correction of DAIS hyperspectral image data. **Computers & Geosciences**, Vol. 22, p. 785–793, 1996.

RICHTER, R.; SCHLAEPFER, D. Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data, Part 2: atmospheric/topographic correction. **International Journal of Remote Sensing**, Vol, 23(13), p.2631–2649, 2002.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/eo-1 e de espectrorradiômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2006.

RUDORFF, C. M.; NOVO, E. M. L. M.; GALVÃO, L. S.; PEREIRA FILHO, W. **Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia**. *Acta Amazônica*, Vol. 37(2), p.269 – 280. 2007.

RSI. *Research Systems Inc. Manual do ENVI*. ENVI Version 4.7. *Research Systems Inc*, 2009.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001 a.

SAPUCCI, L.F.; MONICO, J.F.G. **Avaliação dos modelos de Hopfield e de Saastamoinen para a modelagem do atraso zenital troposférico em território**

Brasileiro utilizando GPS. In: Séries em Ciências Geodésicas 30 anos de Pós Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil. Curitiba, Vol. 1, p. 47-61, 2001 b.

SCHLÄPFER, D.; BOREL, C.C.; KELLER, J.; ITTEN, I. K. Atmospheric Precorrected Differential Absorption Technique to Retrieve Columnar Water Vapor. In: **Remote Sensing of Environment**, 1998. 65:353-366.

STRUNK, A. **Tropospheric chemical state estimation by four-dimensional variational data assimilation on nested grids.** 2006. 139 p. Tese (Doutorado em Matemática e Ciências Naturais) - University of Cologne, Cologne, 2006.

TALAGRAND, O. Assimilation of Observations, an Introduction. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 75, p. 191-209, 1997.

THOMAS, C., DOZ, S., BRIOTTET, X., SANTER, R., BOLDO, D. AND MATHIEU, S. Remote Sensing of Aerosols in Urban Areas: Sun/Shadow Retrieval Procedure from Airborne Very High Spatial Resolution Images. In: **Proceedings of 2009 Joint Urban Remote Sensing Event**. 26 de Junho 2009, Shanghai. p. 1–6. New Brunswick, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Editora da Universidade: ABRH: EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 4. Porto Alegre, 1a. Edição, 1997.

TYAGI, P.; BHOSLE, U. Atmospheric Correction of Remotely Sensed Images in Spatial and Transform Domain. **International Journal of Image Processing (IJIP)**, Volume 5, Issue 5, 2011.

XU, A.; XU, Z.; GE, M.; XU, X.; ZHU, H.; SUI, X. Estimating Zenith Tropospheric Delays from Beidou Navigation Satellite System Observations. **Sensors**, 2013, vol. 13, 4514-4526.

YU, L.; PORWAL, A.; HOLDEN, E.; DENTITH, M. C. Suppression of vegetation in multispectral remote sensing images, **International Journal of Remote Sensing**, vol. 32:22, P7343-7357, 2011.

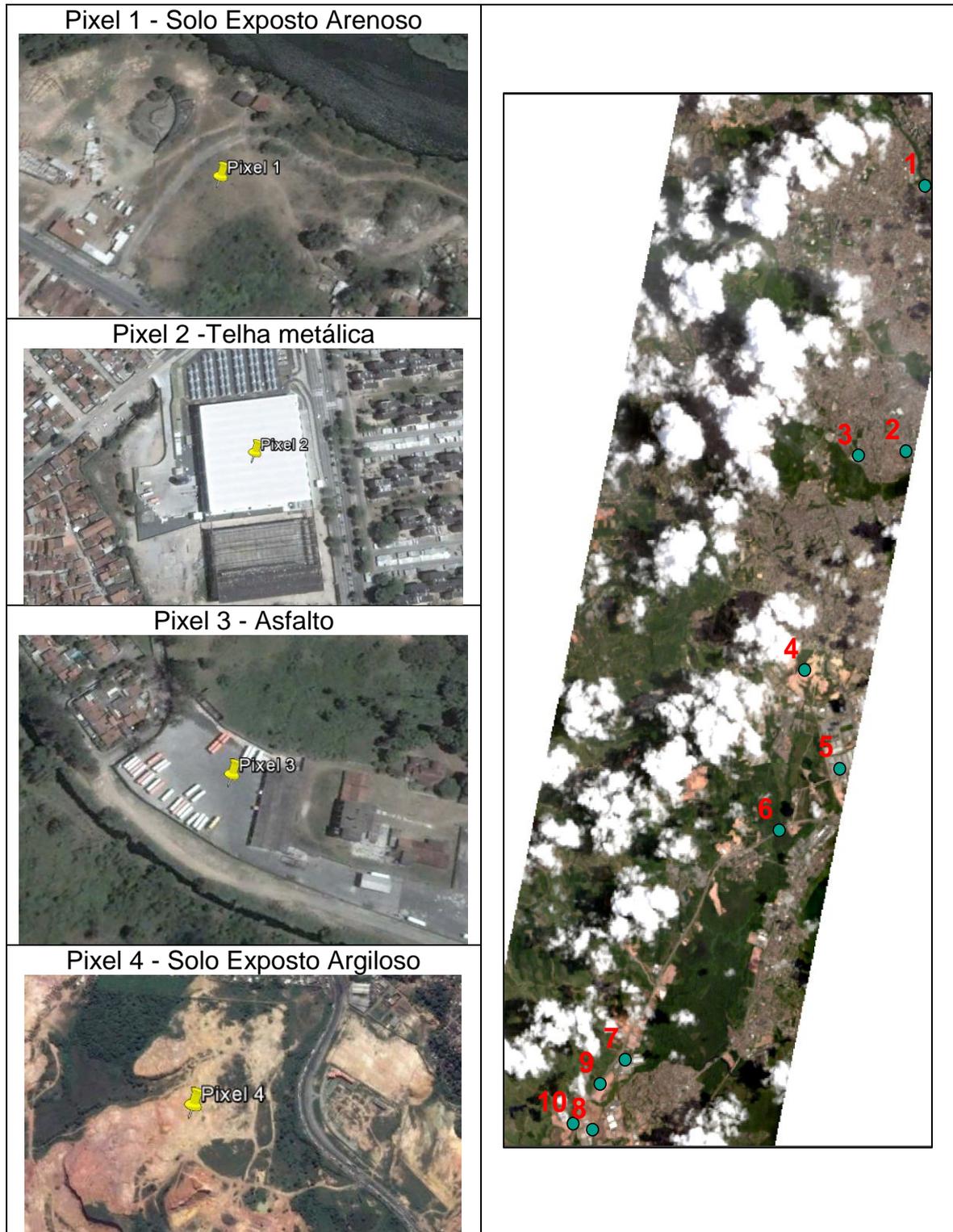
YUAN, J.; NIU, Z. Evaluation of atmospheric correction using FLAASH. In: **Earth Observation and Remote Sensing Applications, 2008. EORSA 2008.** June 30 2008-July 2 2008. p. 1 – 6. E-ISBN :978-1-4244-2394-1.

ZANDONÁ, C. A. W. **Ambiente de Visualização Integrado para Modelos Numéricos de Previsão de Tempo e Informações Ambientais.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, 2005, Curitiba-PR.

APÊNDICE

APÊNDICE A

IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO OBTIDAS COM O GOOGLE EARTH MOSTRANDO AS ÁREAS E PIXELS SELECIONADOS



Pixel 5 - Telha metálica



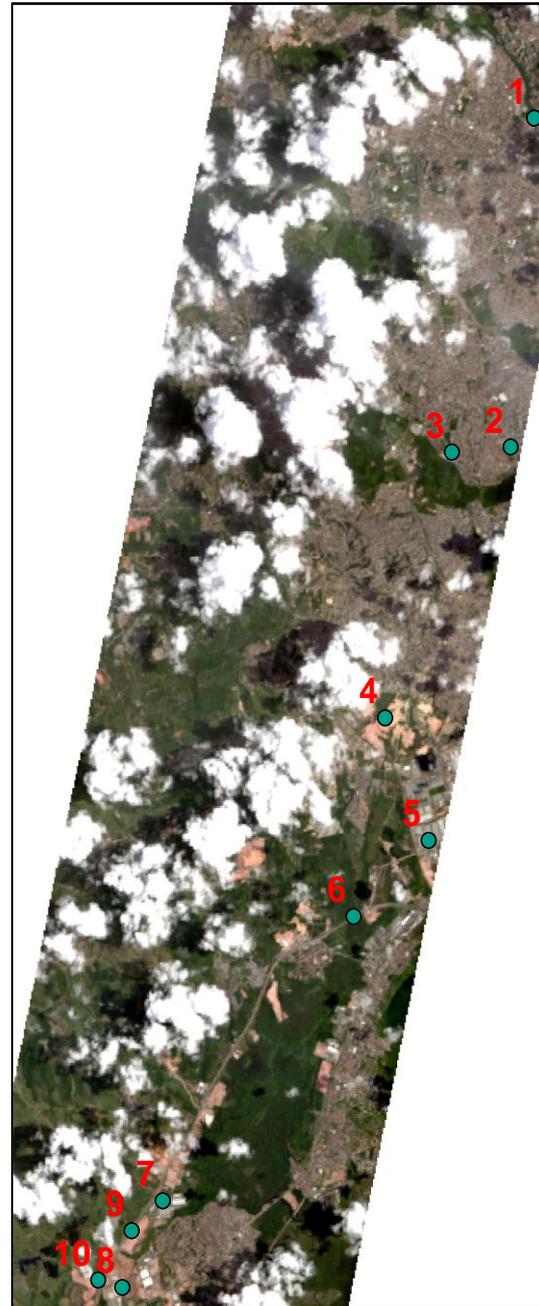
Pixel 6 - Asfalto

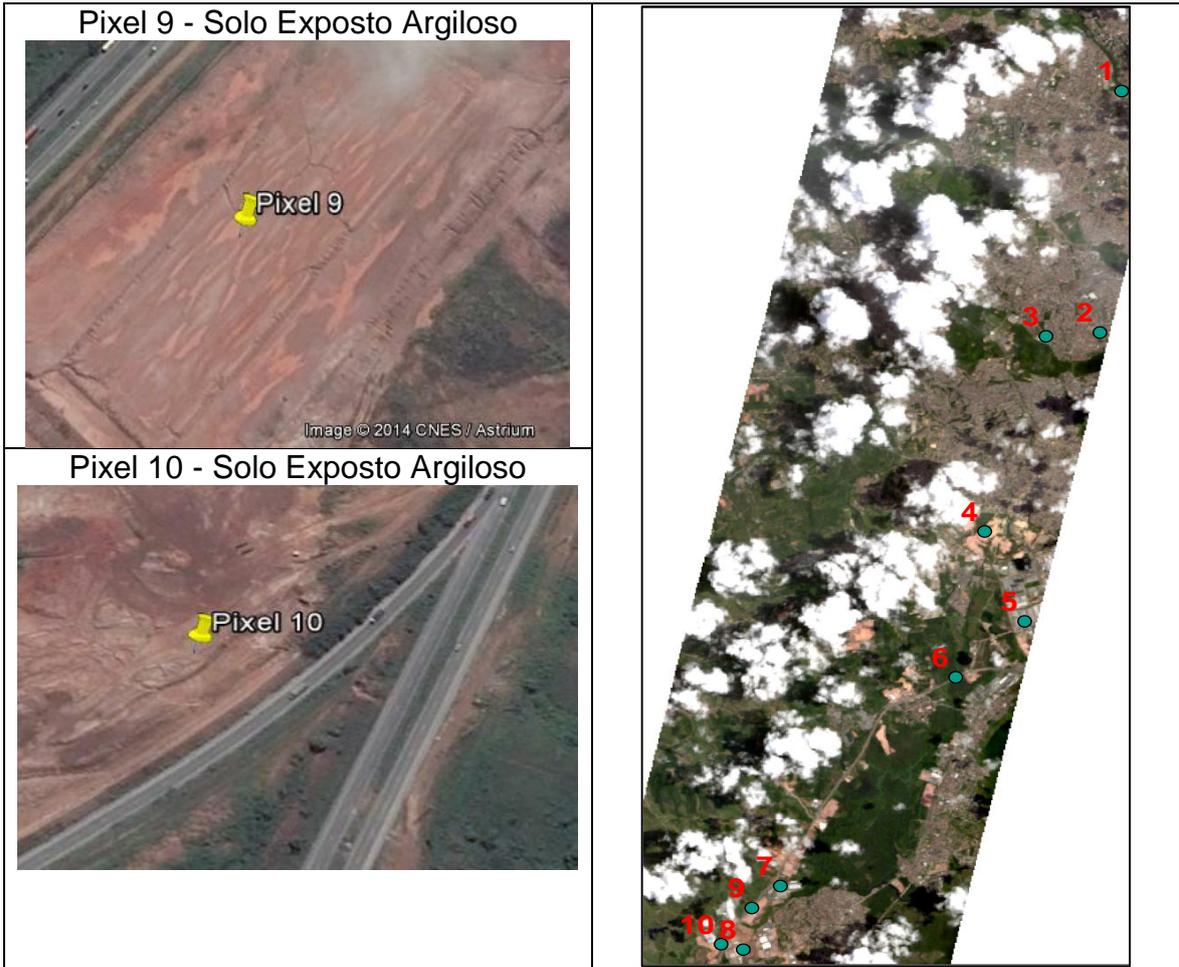


Pixel 7 - Telha metálica



Pixel 8 - Telha metálica





APÊNDICE B

RESULTADOS DO PROCESSAMENTO PARA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA E ANÁLISE DE PERFIL

Foram realizados o processamento para correção atmosférica de 2 imagens hiperespectrais do sensor *Hyperion*, para o cômputo do vapor d'água médio de cada cena, através da faixa de 1,135 μm , os dados referentes a tomada da imagem estão descritos na Tabela 16. Para esse procedimento, foi utilizado o *software* ENVI. Todas as cenas obtidas foram da região do Recife, com diferentes ângulos de visada do sensor, azimute e elevação solar.

Foi o utilizado para o aerossol o modelo "*Urban*", já que a cena contém grande parte da cidade do Recife, além do modelo *Scaled* com 8 direções de espalhamento, e resolução de 5cm^{-1} . Para a atmosfera foi utilizado o modelo "*Tropical*".

Tabela 146. Dados das Imagens

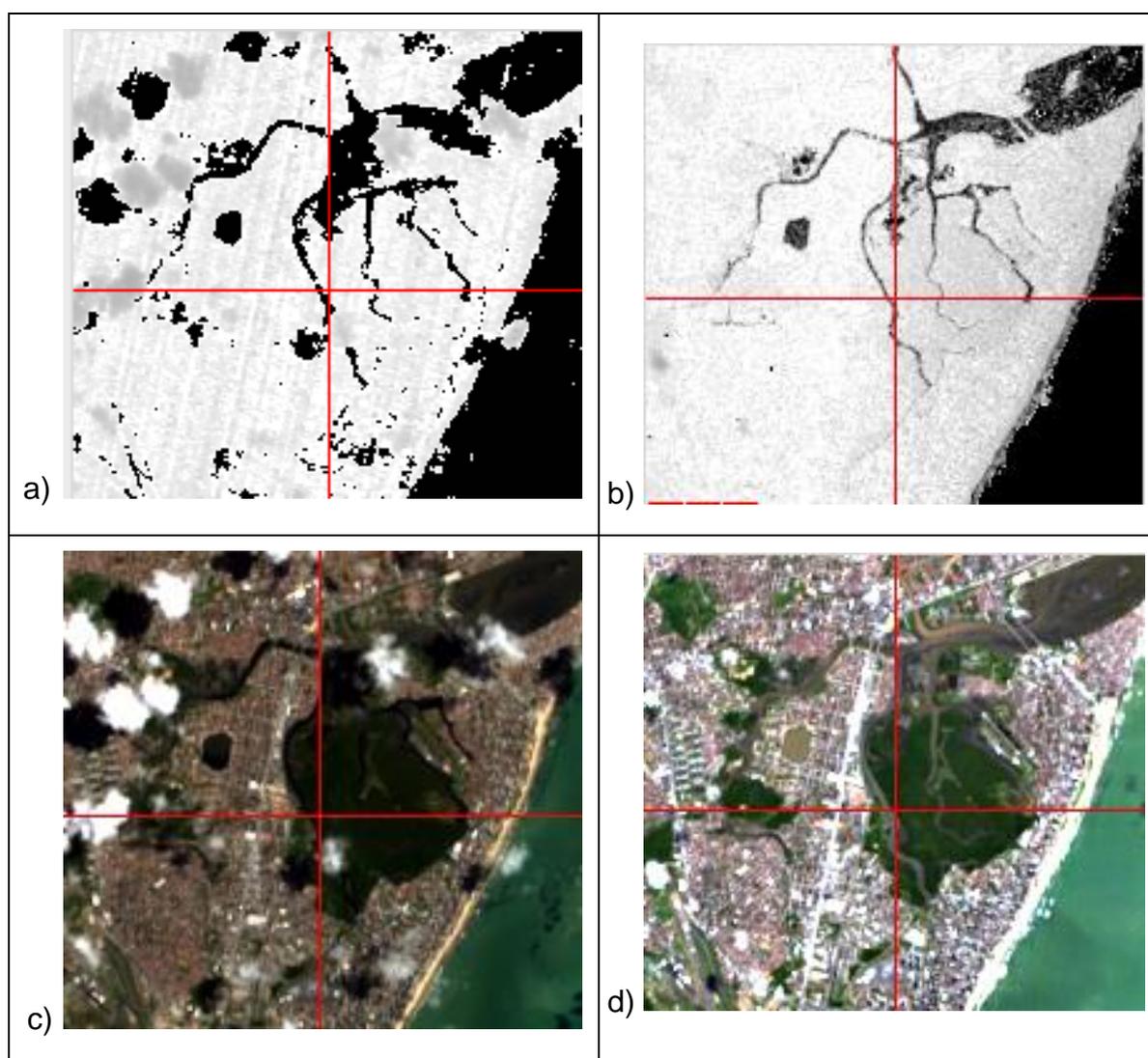
Imagem	Data	Ângulo de Visada	Azimute Solar	Elevação Solar
EO1H214066 2002084110KZ	25/03/2002	-8,92	74,64	55,41
EO1H214066 2002164110KZ	13/06/2002	-8,73	44,03	45,90

Para a imagem de vapor d'água do dia 25/03 (Figura 39 (c)), foi obtido um valor médio de $3,7601 \text{ g/cm}^2$, e uma visibilidade estimada em 42.1157 km. A imagem do dia 13/06, Figura 39 (d), foi obtido um valor médio de $3,0956 \text{ g/cm}^2$, e uma visibilidade estimada em 18.716 km, O baixo valor para visibilidade é um indicador do nível de opacidade atmosférica no momento da obtenção das imagens. Apesar dos valores médios da imagem para o vapor d'água serem próximos, houve uma grande diferença na visibilidade, o que pode ser um indicativo da alta presença de aerossóis, além da diferença na geometria do imageamento.

Os valores médios para o vapor d'água obtido diferem dos recomendados pelo MODTRAN, o que justifica a utilização de dados da PNT para correção de imagens de sensores que não possuem um grande número de bandas para o cálculo dessa variável.

Como pode ser observado na Figura 39, (a) e (b), a área oceânica das imagens, apresentam valores baixos, sobre o oceano, para o vapor d'água essa inconsistência na correção se deve ao produto gerado pelo MODTRAN, já que o algoritmo utilizado não é eficiente para o oceano como já foi descrito por GAO et. al. (2009), contudo ainda precisam ser realizadas mais análises sobre esses resultados.

Figura 39 - Imagens de Vapor D'água e RGB das cenas analisadas. a) Vapor D'água imagem 1, b) Vapor D'água imagem 2, c) Composição RGB da imagem 1, d) Composição imagem 2.



Foram analisadas separadamente as bandas, 11 (0,457 μm), 21 (0,559 μm), 31 (0,660 μm) e 92 (1,063 μm), e as bandas adjacentes a estas, para a imagem do dia 13/06, através de um perfil na linha 1730. Estas bandas foram utilizadas por estarem

nas posições próximas e centrais dos intervalos do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Como se pode observar nas figuras a seguir, os resultados obtidos após a correção atmosférica, especialmente entre as bandas 11 e 22, ratificam a bibliografia, demonstrando o grande efeito provocado pela atmosfera no registro de radiância (proporcional ao nível digital) nessa região, e a importância da realização desse processamento na análise de imagens de Sensoriamento Remoto. Os picos no nível digital apresentados nas figuras da região do visível foram provocados por uma nuvem.

Observa-se uma redução do efeito da atmosfera a medida que o comprimento de onda aumenta (Figura 40 a Figura 50). Isto já era esperado e de acordo com a literatura. Com maiores valores para o vapor d'água, é esperado que essa diferença seja maior em todas as bandas, mas especialmente na banda do infravermelho.

Figura 40 - Perfil Longitudinal da Banda 11 ($0,457 \mu\text{m}$) antes e após o processamento utilizando o FLAASH

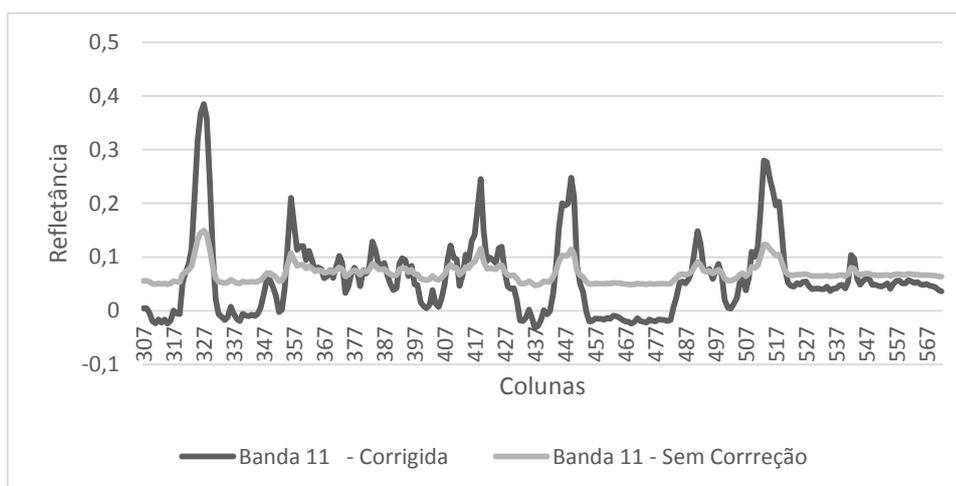


Figura 41 - Perfil Longitudinal da Banda 12 (0,467 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

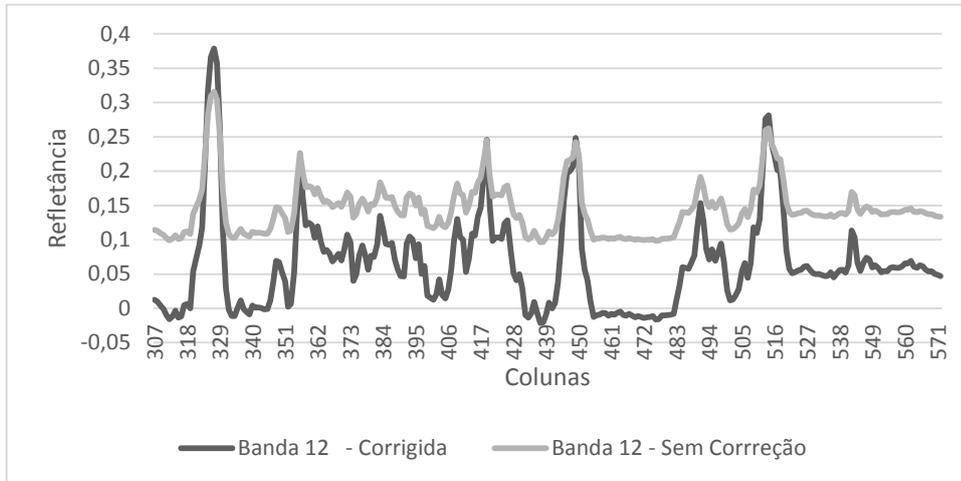


Figura 42 - Perfil Longitudinal da Banda 20 (0,548 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

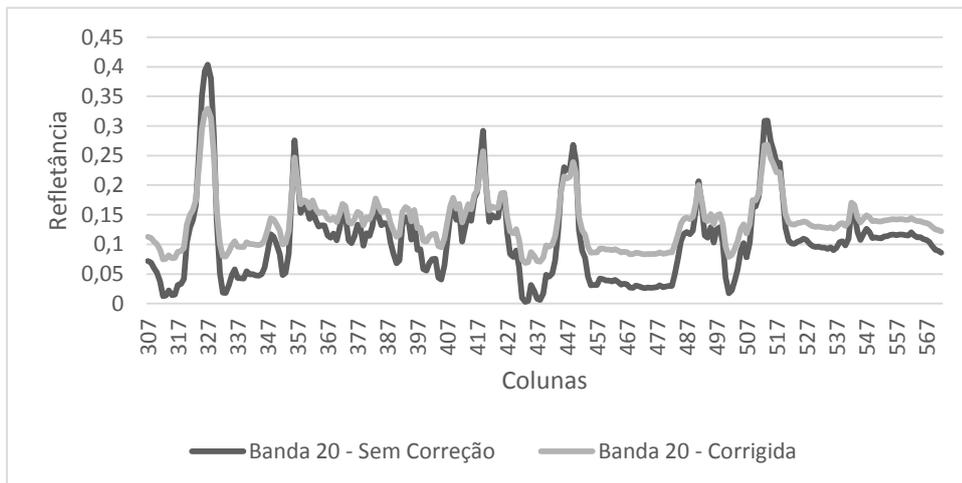


Figura 43 - Perfil Longitudinal da Banda 21 (0,559 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

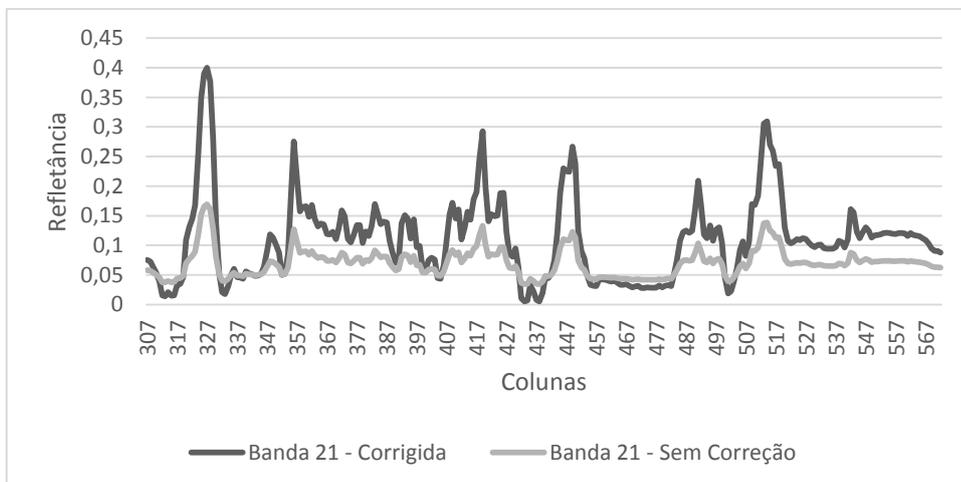


Figura 44 - Perfil Longitudinal da Banda 22 (0,569 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

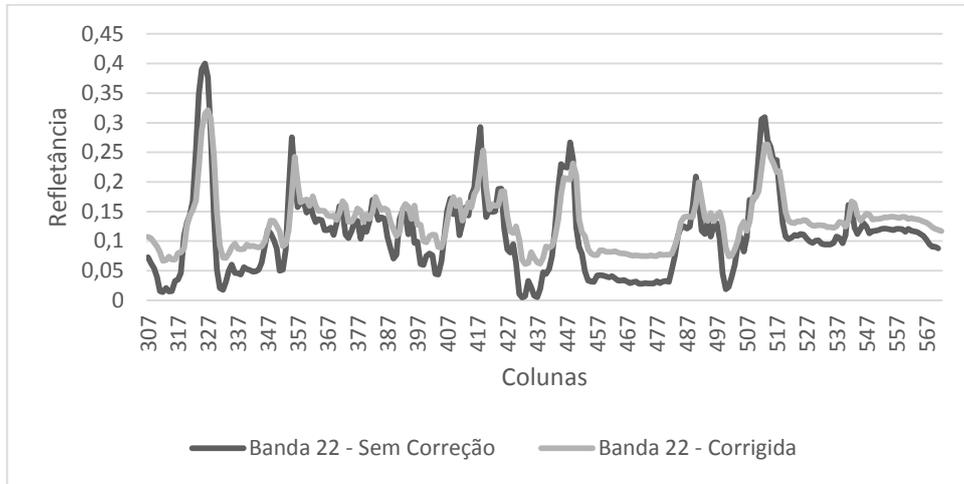


Figura 45 - Perfil Longitudinal da Banda 30 (0,650 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

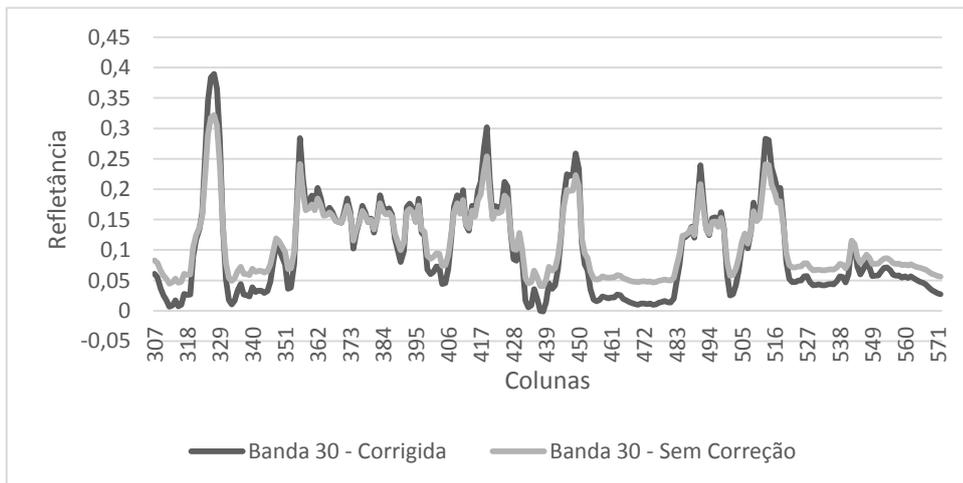


Figura 46 - Perfil Longitudinal da Banda 31 (0,660 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

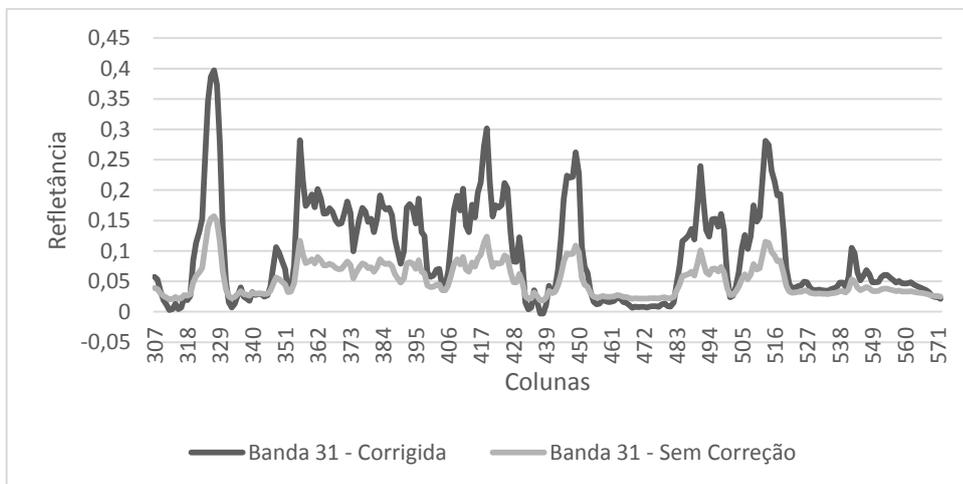


Figura 47 - Perfil Longitudinal da Banda 32 (0,671 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

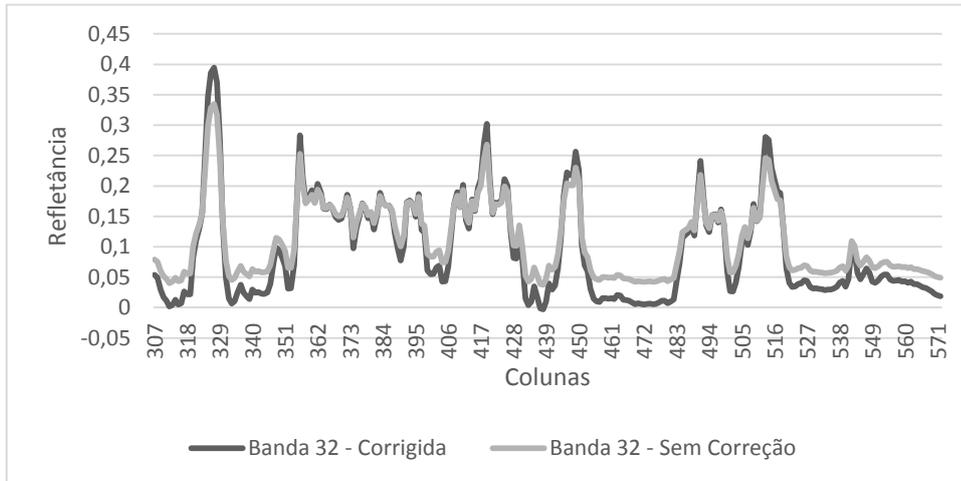


Figura 48 - Perfil Longitudinal da Banda 91 (1,053 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

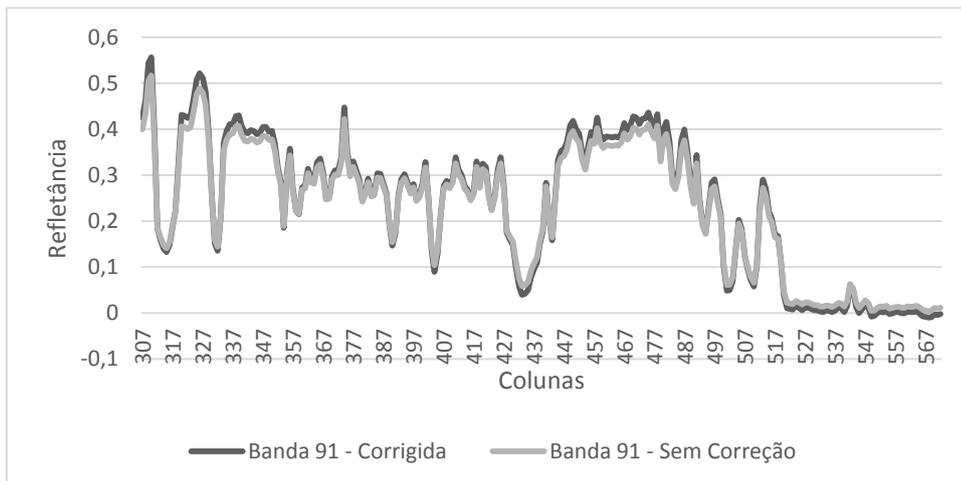


Figura 49 - Perfil Longitudinal da Banda 92 (1,063 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.

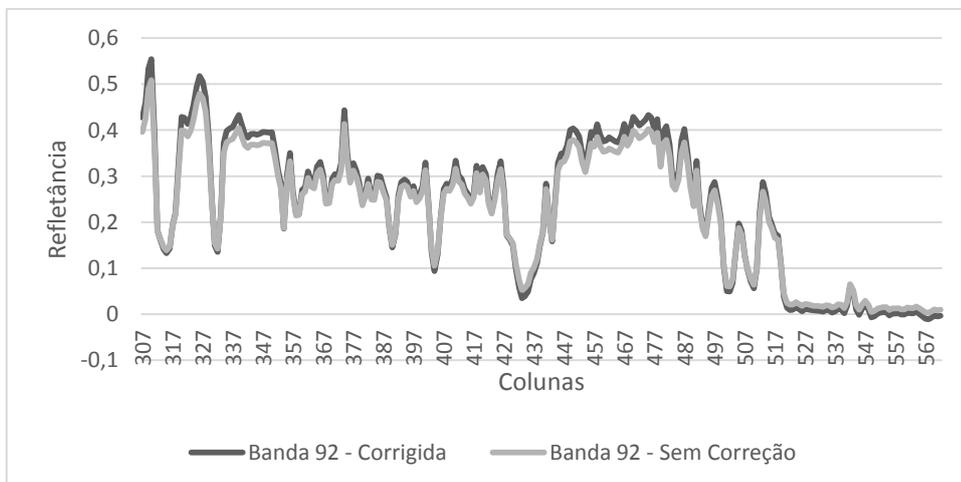
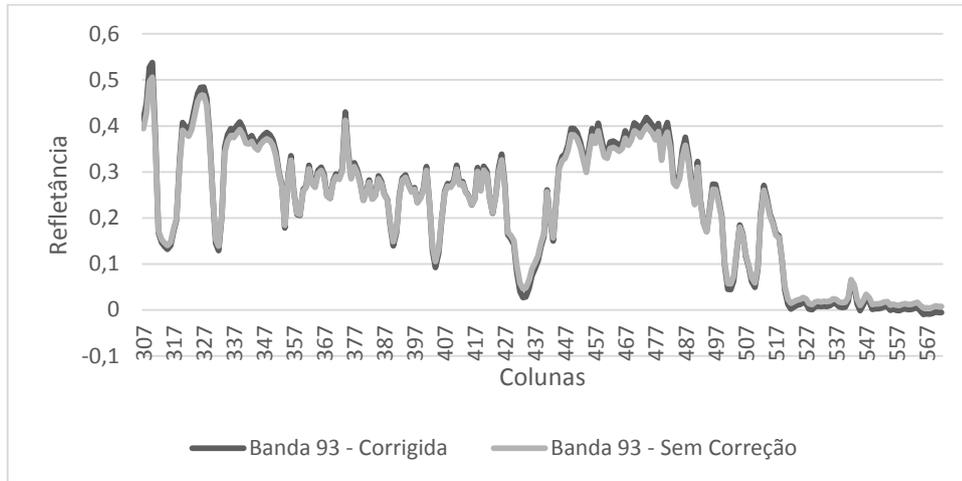


Figura 50 - Perfil Longitudinal da Banda 93 (1,073 μm) antes e após o processamento utilizando o FLAASH.



APÊNDICE C

ROTINA MATLAB DESENVOLVIDA PARA TRATAMENTO ESTATÍSTICOS E GERAÇÃO DE GRÁFICOS

```
%Geração de Gráficos
%Instaciando variáveis
id=['01';'02';'03';'04';'05';'06';'07';'08';'09';'10'];

%Hiperespectral
media=[];
media_cal_prop=[];
media_cal_std=[];
desvio_padrao=[];
variancia=[];
r_cal_prop=[];
p_cal_prop=[];
r_hyp=[];
r_hyp_calc_prop_vis=[];
r_hyp_calc_std_vis=[];
p_hyp=[];
p_hyp_calc_prop_vis=[];
p_hyp_calc_std_vis=[];

%Hipotese
vis_toa=[];
vis_std=[];
vis_prop=[];
infra_toa=[];
infra_std=[];
infra_prop=[];
hvar=[];
pvar=[];
ht=[];
pt=[];
hvari=[];
pvari=[];
hti=[];
pti=[];

%Variaveis do azul
b_m=[]; %STD-TOA
b_mp=[]; %PROP-TOA
b_std=[]; %Azul no STD
b_prop=[]; %Azul no Prop
b_toa=[]; %Azul TOA
```

```
r_b_metodos=[];
r_b_std=[];
r_b_prop=[];

%Variaveis do verde
g_m=[];
g_mp=[];
g_std=[]; %Azul no STD
g_prop=[]; %Azul no Prop
g_toa=[]; %Azul TOA
r_g_metodos=[];
r_g_std=[];
r_g_prop=[];

%Variaveis do vermelho
r_m=[];
r_mp=[];
r_std=[]; %Azul no STD
r_prop=[]; %Azul no Prop
r_toa=[]; %Azul TOA
r_r_metodos=[];
r_r_std=[];
r_r_prop=[];

%Variaveis do infravermelho
nir_m=[];
nir_mp=[];
nir_std=[]; %Azul no STD
nir_prop=[]; %Azul no Prop
nir_toa=[]; %Azul TOA
r_nir_metodos=[];
r_nir_std=[];
r_nir_prop=[];

%Multiespectral
media_oli=[];
desvio_padrao_oli=[];
variacao_oli=[];
r_oli=[];
p_oli=[];
sam_vis=[];
sam_infra=[];
sam=[];
%Define Caminho do Arquivo e abre
arquivo_txt=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\assinatura_estatistica.txt');
fileID=fopen(arquivo_txt,'wb');
arquivo_txt_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\OLI\assinatura_estatistica_O
LI.txt');
```

```
file=fopen(arquivo_txt_oli,'wb');

%Loop de processamento
for i=1:10

vis_toa=[];
vis_std=[];
vis_prop=[];
infra_toa=[];
infra_std=[];
infra_prop=[];
nir_m=[];
nir_mp=[];
nir_std=[]; %Azul no STD
nir_prop=[]; %Azul no Prop
nir_toa=[]; %Azul TOA
%Variaveis do azul
b_m=[]; %STD-TOA
b_mp=[]; %PROP-TOA
b_std=[]; %Azul no STD
b_prop=[]; %Azul no Prop
b_toa=[]; %Azul TOA
%Variaveis do verde
g_m=[];
g_mp=[];
g_std=[]; %Azul no STD
g_prop=[]; %Azul no Prop
g_toa=[]; %Azul TOA

    %Acessa os arquivos hiperespectrais
    arquivo_prop=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
PROPOSTO\Pixels\assinatura_pixel',id(i,:),'.txt');
    arquivo_std=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
PROPOSTO\Pixels\cal_std\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
    arquivo_toa=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamentos sem
correção\Pixels\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
    arquivo_prop=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
PROPOSTO\Pixels\cal_prop\assinatura_pixel',id(i,:),'.txt');

    %variáveis de armazenamento
    file_prop = importdata(arquivo_prop);
    file_std = importdata(arquivo_std);
    file_toa = importdata(arquivo_toa);
```

```

%Monta os Gráficos das assinaturas hiperespectrais
plot(file_prop.data(:,1),file_prop.data(:,2)/10000,'g-','LineWidth',1.5)
hold on
plot(file_std.data(:,1),file_std.data(:,2)/10000,'b-','LineWidth',1.5)
plot(file_toa.data(:,1),file_toa.data(:,2),'r-','LineWidth',1.5)
axis([400,2500,-0.001,1.2]);
xlabel('Comprimento de Onda (nm)'); % x-axis label
ylabel('Valor de Reflectância'); % y-axis label
legend('Assinatura Espectral por Processamento Proposto','Assinatura Espectral
por Razão entre Bandas','Assinatura Espectral Sem Correção'); %legenda
title("");
hold off;
saida_assinatura = strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\assinatura',id(i,:));
saveas(gcf,saida_assinatura,'png');

%Calculando as diferenças entre as assinaturas
m = file_prop.data(:,2)-file_std.data(:,2);
m = m/10000;
%Média
media(end+1)=mean(m);
%Desvio Padrão
desvio_padrao(end+1)=std(m);
%Correlação
[r_hyp(end+1),p_hyp(end+1)]=corr(file_prop.data(:,2),file_std.data(:,2));

%Diferença entre os métodos e a imagem calibrada
dif_cal_prop = (file_prop.data(:,2)/10000)-file_toa.data(:,2);
dif_cal_std = (file_std.data(:,2)/10000)-file_toa.data(:,2);
%Média
media_cal_prop(end+1)=mean(dif_cal_prop);
media_cal_std(end+1)=mean(dif_cal_std);
%Desvio Padrão
desvio_padrao(end+1)=std(m);
%Correlação
[r_cal_prop(end+1),p_cal_prop(end+1)]=corr(file_prop.data(:,2)/10000,file_toa.data(:,
2));

%Spectral Angle Mapper Analysis
%Loop das regiões
for j=1:187
    banda = file_std.data(j,1);
    if banda<500
        b_m(end+1) = (file_std.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
        b_mp(end+1) = (file_prop.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
        b_std(end+1) = file_std.data(j,2)/10000;
        b_prop(end+1) = file_prop.data(j,2)/10000;
        b_toa(end+1) = file_toa.data(j,2);
    else

```

```

if banda>501 & banda<600
    g_m(end+1)=(file_std.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    g_mp(end+1)=(file_prop.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    g_std(end+1) = file_std.data(j,2)/10000;
    g_prop(end+1) = file_prop.data(j,2)/10000;
    g_toa(end+1) = file_toa.data(j,2);
else
if banda>600 & banda<760
    r_m(end+1)=(file_std.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    r_mp(end+1)=(file_prop.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    r_std(end+1) = file_std.data(j,2)/10000;
    r_prop(end+1) = file_prop.data(j,2)/10000;
    r_toa(end+1) = file_toa.data(j,2);
else
if banda>760
    nir_m(end+1)=(file_std.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    nir_mp(end+1)=(file_prop.data(j,2)/10000)-file_toa.data(j,2);
    nir_std(end+1) = file_std.data(j,2)/10000;
    nir_prop(end+1) = file_prop.data(j,2)/10000;
    nir_toa(end+1) = file_toa.data(j,2);
end
end
end
end

%Loop de separação do visível

if banda<760
    vis_toa(end+1)=file_std.data(j,2);
    vis_std(end+1)=file_std.data(j,2)/10000;
    vis_prop(end+1)=file_prop.data(j,2)/10000;
else
    infra_toa(end+1)=file_std.data(j,2);
    infra_std(end+1)=file_std.data(j,2)/10000;
    infra_prop(end+1)=file_prop.data(j,2)/10000;
end
end

erro_prop = vis_prop-vis_toa;
erro_std = vis_std-vis_toa;
erro_prop_infra = infra_prop-infra_toa;
erro_std_infra = infra_std-infra_toa;

sam(end+1)=hyperSam((file_prop.data(:,2)/10000),(file_std.data(:,2)/10000));

%sam_vis(end+1)=hyperSam(vis_prop(:),vis_std(:));
%sam_infra(end+1)=hyperSam(infra_prop(:),infra_std(:));

%Teste de hipótese no visível
[hvar(end+1),pvar(end+1)]=ansaribradley(erro_prop,erro_std);

```

```
[ht(end+1),pt(end+1)]=signrank(erro_prop,erro_std);

%Testes de hipótese no infravermelho
[hvari(end+1),pvari(end+1)]=ansaribradley(erro_prop_infra,erro_std_infra);
[hti(end+1),pti(end+1)]=signrank(erro_prop_infra,erro_std_infra);

%Escreve hipótese no relatório
if hvar(i)==0
    msgv='Hipótese Nula Válida - Variâncias iguais a 1-sigma no visível';
else
    msgv='Hipótese Nula Inválida - Variâncias diferentes a 1-sigma no visível';
end

if hvari(i)==0
    msgm='Hipótese Nula Válida - Variâncias iguais a 1-sigma no infravermelho';
else
    msgm='Hipótese Nula Inválida - Variâncias diferentes a 1-sigma no
infravermelho';
end

if ht(i)==0
    msgt='Hipótese Nula Válida - Médias iguais a 1-sigma no visível';
else
    msgt='Hipótese Nula Inválida - Médias diferentes a 1-sigma no visível';
end

if hti(i)==0
    msgti='Hipótese Nula Válida - Médias iguais a 1-sigma no infravermelho';
else
    msgti='Hipótese Nula Inválida - Médias diferentes a 1-sigma no infravermelho';
end

%diferença média no azul
dif_b=mean(b_m); %STD-TOA
dif_b_p=mean(b_mp); %PROP-TOA
%diferença média no verde
dif_g=mean(g_m); %STD-TOA
dif_g_p=mean(g_mp); %PROP-TOA
%diferença média no vermelho
dif_r=mean(r_m); %STD-TOA
dif_r_p=mean(r_mp); %PROP-TOA
%diferença média no infravermelho
dif_nir=mean(nir_m); %STD-TOA
dif_nir_p=mean(nir_mp); %PROP-TOA

%Calcula correlações nas bandas do visível e infravermelho
r_b_metodos(end+1)=corr(b_std(:),b_prop(:)); %Correlação entre os métodos
propostos
r_b_prop(end+1)=corr(b_prop(:),b_toa(:)); %Correlação entre a imagem PROP e
TOA
```

```

r_b_std(end+1)=corr(b_std(:),b_toa(:)); %Correlação entre imagem STD e TOA

r_g_metodos(end+1)=corr(g_std(:),g_prop(:)); %Correlação entre os métodos
propostos
r_g_prop(end+1)=corr(g_prop(:),g_toa(:)); %Correlação entre a imagem PROP e
TOA
r_g_std(end+1)=corr(g_std(:),g_toa(:)); %Correlação entre imagem STD e TOA

r_r_metodos(end+1)=corr(r_std(:),r_prop(:)); %Correlação entre os métodos
propostos
r_r_prop(end+1)=corr(r_prop(:),r_toa(:)); %Correlação entre a imagem PROP e
TOA
r_r_std(end+1)=corr(r_std(:),r_toa(:)); %Correlação entre imagem STD e TOA

r_nir_metodos(end+1)=corr(nir_std(:),nir_prop(:)); %Correlação entre os métodos
propostos
r_nir_prop(end+1)=corr(nir_prop(:),nir_toa(:)); %Correlação entre a imagem PROP
e TOA
r_nir_std(end+1)=corr(nir_std(:),nir_toa(:)); %Correlação entre imagem STD e
TOA

%Arquivo de Saída com Estatísticas
formatSpec = 'Para assinatura %s \n Diferença entre os métodos:%4.4f \n Desvio
Padrão das Diferenças: %4.4f \n Correlação de Pearson:%4.4f \n Diferença média
entre a imagem corrigida PNT e a calibrada: %4.4f \n Diferença média entre a
imagem corrigida STD e calibrada: %4.4f\n Diferença no azul STD-TOA:%4.4f \n
Diferença no Verde STD-TOA: %4.4f \n Diferença no Vermelho STD-TOA: %4.4f \n
Diferença no Infravermelho STD-TOA: %4.4f\n Diferença no azul PROP-TOA:%4.4f
\n Diferença no Verde PROP-TOA: %4.4f \n Diferença no Vermelho PROP-TOA:
%4.4f \n Diferença no Infravermelho PROP-TOA: %4.4f \n %s\n p-value
variância:%4.4f\n %s\n p-value média:%4.4f \n %s \n %4.4f \n %s \n %4.4f \n\n';

fprintf(fileID,formatSpec,id(i,:),media(i),desvio_padrao(i),r_hyp(i),media_cal_prop(i),m
edia_cal_std(i),dif_b,dif_g,dif_r,dif_nir,dif_b_p,dif_g_p,dif_r_p,dif_nir_p,msgv,pvar(i),
msgm,pvari(i),msgt,pt(i),msgti,pti(i));

%Gráfico de Regressão Linear para toda assinatura
%hand = plotregression(file_prop.data(:,2),file_std.data(:,2),'Regressão Linear')
%legend off;
%h = get(hand, 'Children');
%hh = get(h(1), 'Children');
%set(hh(1),'Marker','+','Color','r')
%xlabel('Método Proposto (Refletância*10.000)');
%ylabel('Método de Razão Entre Bandas (Refletância*10.000)');
%saida_regressao=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\grafico_regressão',id(i,:))
%saveas(gcf,saida_regressao,'png')

end

```

```
%Correlação NIR
plot(r_nir_metodos,'r-','LineWidth',1.5)
hold on
plot(r_nir_prop,'g-*','LineWidth',1.5)
plot(r_nir_std,'b--','LineWidth',1.5)
axis([1,10,-1,1.5]);
xlabel('Pixels'); % x-axis label
ylabel('Índice de correlação'); % y-axis label
legend('Correlação entre os dois métodos de Correção','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pelo método proposto','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pela técnica de razão entre Bandas');
title('Correlações Na Região Espectral do Infravermelho');
hold off;
saida_assinatura = strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\correlacao_infra');
saveas(gcf,saida_assinatura,'png');
```

```
%Correlação RED
plot(r_r_metodos,'r-','LineWidth',1.5)
hold on
plot(r_r_prop,'g-*','LineWidth',1.5)
plot(r_r_std,'b--','LineWidth',1.5)
axis([1,10,-1.2,1.5]);
xlabel('Pixels'); % x-axis label
ylabel('Índice de correlação'); % y-axis label
legend('Correlação entre os dois métodos de Correção','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pelo método proposto','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pela técnica de razão entre Bandas');
title('Correlações Na Região Espectral do Vermelho');
hold off;
saida_assinatura = strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\correlacao_vermelho');
saveas(gcf,saida_assinatura,'png');
```

```
%Correlação GREEN
plot(r_g_metodos,'r-','LineWidth',1.5)
hold on
plot(r_g_prop,'g-*','LineWidth',1.5)
plot(r_g_std,'b--','LineWidth',1.5)
axis([1,10,-1.2,1.5]);
xlabel('Pixels'); % x-axis label
ylabel('Índice de correlação'); % y-axis label
legend('Correlação entre os dois métodos de Correção','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pelo método proposto','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pela técnica de razão entre Bandas');
title('Correlações Na Região Espectral do Verde');
hold off;
saida_assinatura = strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\verde');
```

```
saveas(gcf,saida_assinatura,'png');

%Correlação BLUE
plot(r_b_metodos,'r-','LineWidth',1.5)
hold on
plot(r_b_prop,'g-*','LineWidth',1.5)
plot(r_b_std,'b--','LineWidth',1.5)
axis([1,10,-1.2,1.5]);
xlabel('Pixels'); % x-axis label
ylabel('Índice de correlação'); % y-axis label
legend('Correlação entre os dois métodos de Correção','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pelo método proposto','Correlação entre a
imagem sem correção e a corrigida pela técnica de razão entre Bandas');
title('Correlações Na Região Espectral do Azul');
hold off;
saida_assinatura = strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\correlacao_azul');
saveas(gcf,saida_assinatura,'png');

%Geração de Gráficos

%Instaciando variáveis
id=['01';'02';'03';'04';'05';'06';'07';'08';'09';'10'];

%Define Caminho do Arquivo e abre
arquivo_txt=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\assinatura_estatistica.txt');
fileID=fopen(arquivo_txt,'wb');
arquivo_txt_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\OLI\assinatura_estatistica_O
LI.txt');
file=fopen(arquivo_txt_oli,'wb');

%Loop de processamento
for i=1:10
    %Acessa os arquivos hiperespectrais
    arquivo_prop=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
PROPOSTO\Pixels\assinatura_pixel',id(i,:),'.txt');
    arquivo_std=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
STANDART\Pixels\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
    arquivo_toa=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamentos sem
correção\Pixels\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
    file_prop = importdata(arquivo_prop);
    file_std = importdata(arquivo_std);
    file_toa = importdata(arquivo_toa);

%Gráfico de Regressão Linear
```

```

hand = plotregression(file_prop.data(:,2),file_std.data(:,2),'Correlação do pixel
%d',i)
legend off;
h = get(hand, 'Children');
hh = get(h(1), 'Children');
set(hh(1),'Marker','+','Color','r')
xlabel('Método Proposto (Refletância*10.000)');
ylabel('Método de Razão Entre Bandas (Refletância*10.000)');
saida_regressao=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\grafico_regressão',id(i,:))
saveas(gcf,saida_regressao,'png')

```

%-----%

```

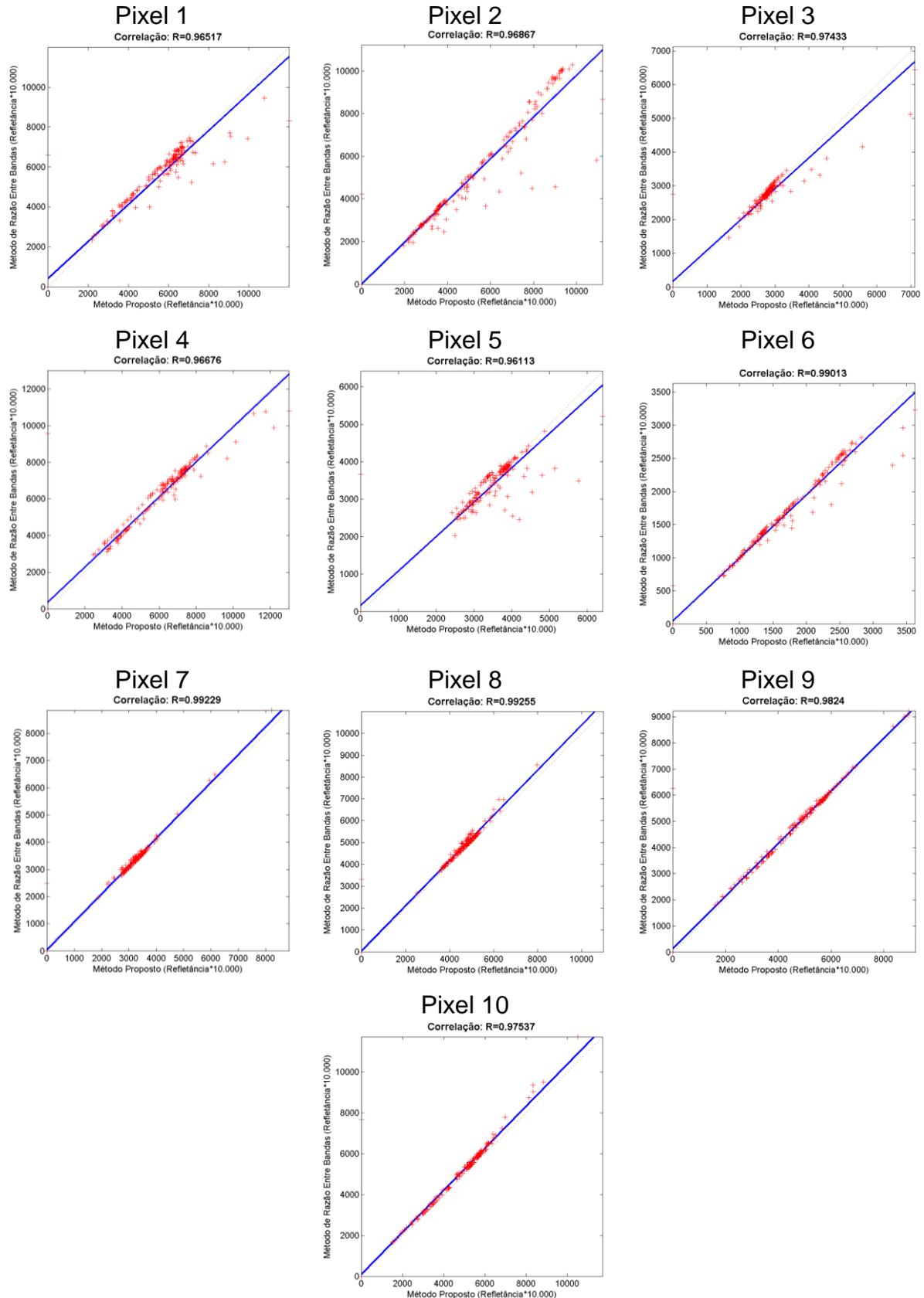
%gráficos multiespectrais OLI
prop_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
PROPOSTO\Pixels\OLI\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
std_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamento FLAASH
STANDART\Pixels\OLI\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
toa_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Processamentos sem
correção\Pixels\OLI\assinatura_pixel_',id(i,:),'.txt');
file_prop_oli = importdata(prop_oli);
file_std_oli = importdata(std_oli);
file_toa_oli = importdata(toa_oli);

hand_oli = plotregression(file_prop_oli.data(:,2),file_std_oli.data(:,2),'Correlação')
legend off;
h_oli = get(hand_oli, 'Children');
hh_oli = get(h_oli(1), 'Children');
set(hh_oli(1),'Marker','+','Color','r')
xlabel('Método Proposto (Refletância*10.000)');
ylabel('Método de Razão Entre Bandas (Refletância*10.000)');
saida_regressao_oli=strcat('C:\Users\Anderson\Desktop\Backup
Mestrado\Imagens\Imagem1_Hyperion_2802\Analises\OLI\grafico_regressão',id(i,:))
saveas(gcf,saida_regressao_oli,'png')
end

```

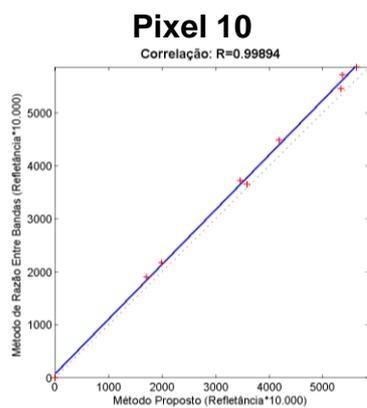
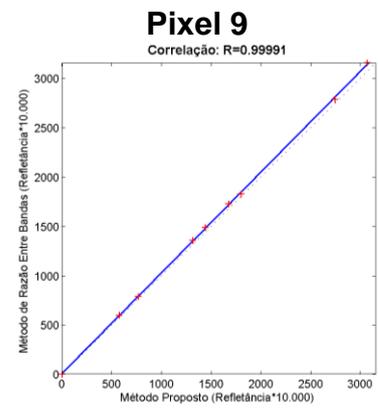
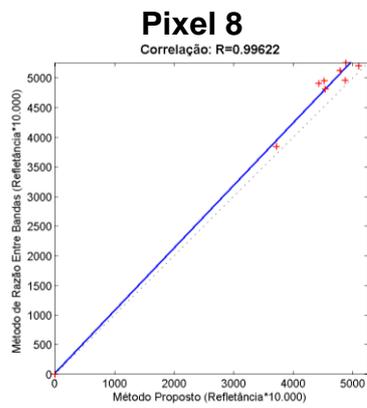
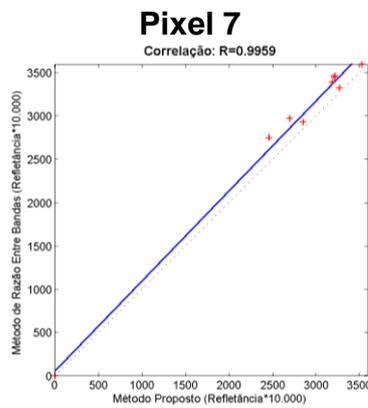
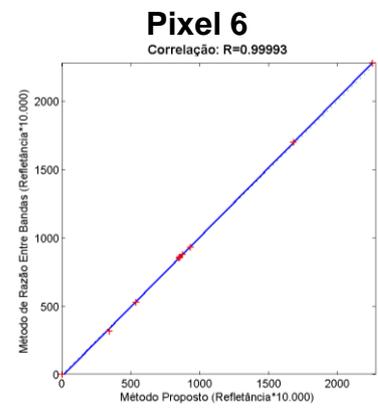
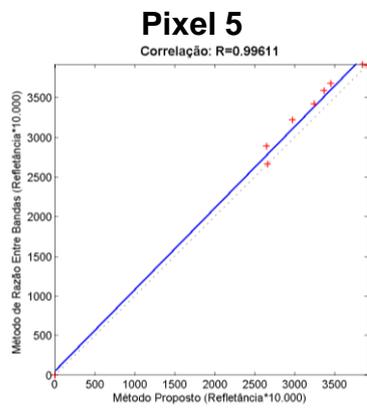
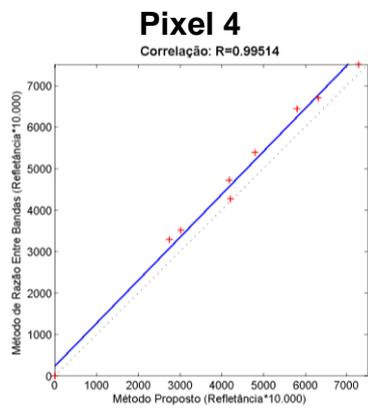
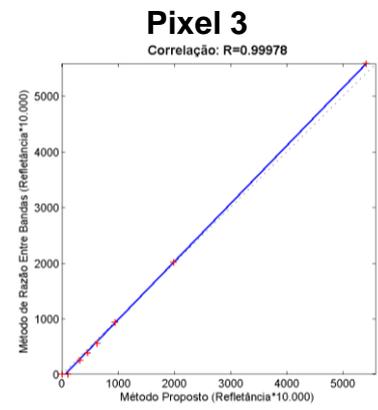
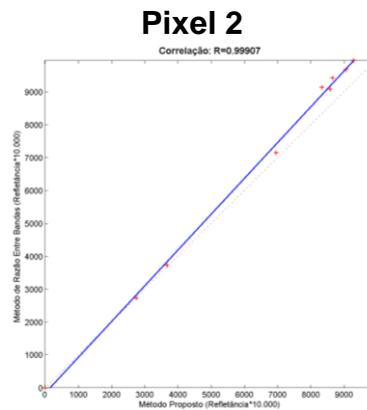
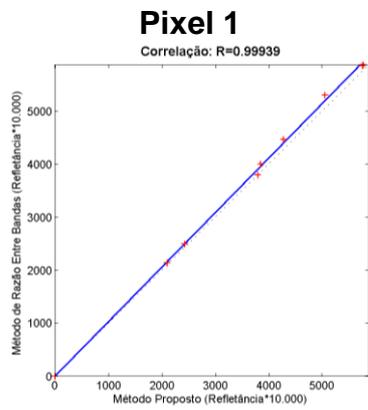
APÊNDICE D

GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ASSINATURAS HIPERESPECTRAIS OBTIDAS ENTRE OS DOIS MÉTODOS PROPOSTOS



APÊNDICE E

GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ASSINATURAS MULTIESPECTRAIS OBTIDAS ENTRE OS DOIS MÉTODOS PROPOSTOS



ANEXOS

ANEXO A

ROTINA DO SOFTWARE INTERPOL ADAPTADO

```
program iww_pnt
  INTEGER, PARAMETER :: jc=446,jl=500,jn=22
  COMMON /type/ VARSJ(jn), VARSF(jn),INTERP(jn)
  DOUBLE PRECISION LATINI,PASLATI,LONINI,PASLONG
  DOUBLE PRECISION LATI,LONGI
  INTEGER anop,mesp,diap,horp,goto35,goto40
  CHARACTER*1 name*150,nameout*200,smes*3,nameinp*200,undef*15,&
    name1*85,esta*4,cerca*1
  REAL LATINlout,LONINlout,BI6,Hesc
  REAL
  BUFFERI(jc,jl,jn),BUFFERIB,BUFFERIA,LATIEST,LONGEST,ALTIEST
  REAL BUFFERF(jc,jl,jn),BUFFERFB,BUFFERFA,INTERP

  INTEGER i,j,k,n,XDEF,YDEF

  !C ABRINDO ARQUIVOS DE ENTRADA E SAIDA DE DADOS
  print*,'Gerente utilizado: gerente.dat'
  OPEN(1,file='gerente.dat',status='unknown')
  call comenta
  read(1,'(a200)')nameinp
  print*,"nameinp" , nameinp
  OPEN(2,file=nameinp,access='direct',status='unknown',&
    form='unformatted',recl=jl*jc*4)
  call comenta
  read(1,'(a200)')nameinp
  OPEN(3,file=nameinp,access='direct',status='unknown',&
    form='unformatted',recl=jl*jc*4)

  !C Lendo informações do grid no arquivo ctl
  XDEF=446
  LONINI=-86.000000
  PASLONG=0.150000
```

YDEF=500

LATINI=-58.000000

PASLATI=0.150000

!C CARREGANDO INFORMACOES DA DATA DA PREVISAO

call comenta

read(1,30)anop,mesp,diap,horp

! print*,anop,mesp,diap,horp

30 FORMAT (I4,I2,I2,I2)

!C Leitura do Arquivo de PNT C

goto35=35

!C LEITURA DO VALOR DO IWV DAS DIFERENTES PREVISOES

35 Do k=1,8

read(2,rec=k)((BUFFERI(i,j,k),i=1,jc),j=1,jl)

read(3,rec=k)((BUFFERF(i,j,k),i=1,jc),j=1,jl)

enddo

!C ABRINDO ARQUIVOS DE SAIDA DOS DADOS INTERPOLADOS C

40 call comenta

read(1,'(a200)')nameout

OPEN (4,file=nameout,status='unknown')

!C CABEÇARIO DE SAIDA

WRITE(4,60)'ESTA LATI LONG IWV_00',' IWV_12',&

'SAT '

60 FORMAT(A37,A14,A14,A44)

!C LEITURA DAS COORDENADAS DOS PONTOS PARA A
INTERPOLACAO C

print*,"Relacao das estacoes em processamento:"

100 call comenta

```
read(1,*,end=200) ESTA,LATIEST,LONGEST,TSAT
```

```
print*, ESTA,LATIEST,LONGEST,TSAT
```

!C LOCALIZAR O INDICE DOS PONTOS DA GRADE EM LATITUDE MAIS PROXIMOS DA ESTAÇÃO GPS

```
DO J=1,JL
```

```
LATI=(LATINI-PASLATI)+(J*PASLATI)
```

```
IF (LATI.GE.LATIEST)GOTO 120
```

```
END DO
```

```
PRINT*,'PONTO FORA DA AREA COBERTA PELO  
MODELO',LATIEST,LONGEST
```

```
GOTO 100
```

!C LOCALIZAR O INDICE DOS PONTOS DA GRADE EM LONGITUDE MAIS PROXIMOS DA ESTAÇÃO GPS

```
120 DO I=1,JC
```

```
LONGI=(LONINI-PASLONG)+(I*PASLONG)
```

```
! print*,"LONGI", LONGI, LONINI
```

```
IF (LONGI.GE.LONGEST) GOTO 130
```

```
END DO
```

```
PRINT*,'PONTO FORA DA AREA COBERTA PELO  
MODELO',LATIEST,LONGEST
```

```
GOTO 100
```

!C CALCULAR O VALOR DO ZTD POR INTERPOLAÇÃO DOS QUATRO PONTOS MAIS PROXIMOS

```
130 Do N=1,8
```

```
print*,'Bilinear Interpolation'
```

!C INTERPOLAÇÃO PARA O MOMENTO INICIAL

```
BUFFERIB = BUFFERI(I,J,N)+(BUFFERI(I,J-1,N)-BUFFERI(I,J,N))  
)*(LATI-LATIEST)/ PASLATI
```

```
BUFFERIA = BUFFERI(I-1,J,N)+(BUFFERI(I-1,J-1,N)-BUFFERI(I-1,J,N))*&
```

```
(LATI-LATIEST)/PASLATI
```

```

!C VARIÁVEIS ARMAZENADAS - TEMPO INICIAL
      VARSI(N)   =   BUFFERIB   +(BUFFERIA-BUFFERIB)*(LONGI-
LONGEST)/PASLONG
!C   print*, 'First T',VARSI(N)
!C-----

!C INTERPOLAÇÃO PARA O MOMENTO FINAL
      BUFFERFB   =   BUFFERF(I,J,N)+(BUFFERF(I,J-1,N)-BUFFERF(I,J,N
))*(LATI-LATIEST)/PASLATI
      BUFFERFA   =   BUFFERF(I-1,J,N)+(BUFFERF(I-1,J-1,N)-BUFFERF(I-
1,J,N))* (LATI-LATIEST)/PASLATI

!C VARIÁVEIS ARMAZENAS - TEMPO FINAL
      VARSF(N)   =   BUFFERFB   +(BUFFERFA-BUFFERFB)*(LONGI-
LONGEST)/PASLONG
!C   print*, 'Second T',VARSF(N)
!-----

!C Interpolação Linear dos valores dos dois momentos para o momento de
passagem
!C do Satellite
!c   print*, ALTIEST
      print*, '4D Linear Interpolation'
      INTERP(N) = VARSI(N) + ((TSAT-9)/(12-9)) * (VARSF(N) - VARSI(N))
      print*, INTERP(N),VARSI(N),VARSF(N)
      PRINT*,'-----'

      ENDDO

!C   est fi/te   VARS
      70 FORMAT(A4,2(2X,F8.4),8(3X,F8.2))
      WRITE(4,70)ESTA,LATIEST, LONGEST,(VARSI(5)/10),(VARSF(5)/10),(INTE
RP(5)/10)

      GOTO 100
      200 close (1)
      close (2)
      close (4)
      close (5)
      close (7)

```

END

SUBROUTINE comenta

CHARACTER*1 cerca*1

201 read(1,'(a1)',end=202)cerca

if (cerca.ne."#")then

BACKSPACE 1

return

else

goto 201

endif

202 return

end subroutine comenta

ANEXO B

ARQUIVO DE METADADOS DA IMAGEM UTILIZADA

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
  REQUEST_ID = "2140652014059_20001"
  PRODUCT_CREATION_TIME = 2014-03-04T21:04:31Z
  EO1_XBAND = "1"
  GROUND_STATION = "SG1"
  DPS_VERSION_NUMBER = "3.00"
  DATEHOUR_CONTACT_PERIOD = 1405912
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
  PRODUCT_TYPE = "L1GST"
  PROCESSING_SOFTWARE = "EPG_3.1.2"
  EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
  SPACECRAFT_ID = "EO1"
  SENSOR_ID = "HYPERION"
  ACQUISITION_DATE = 2014-02-28
  START_TIME = 2014 059 11:35:41
  END_TIME = 2014 059 11:40:00
  IMAGE_CORNER_UPDATE = "YES"
  IMAGE_UL_CORNER_LAT = -7.467498
  IMAGE_UL_CORNER_LON = -34.864570
  IMAGE_UR_CORNER_LAT = -7.480248
  IMAGE_UR_CORNER_LON = -34.797838
  IMAGE_LL_CORNER_LAT = -8.407123
  IMAGE_LL_CORNER_LON = -35.064709
  IMAGE_LR_CORNER_LAT = -8.419940
  IMAGE_LR_CORNER_LON = -34.997846
  PRODUCT_UL_CORNER_LAT = -7.462416
  PRODUCT_UL_CORNER_LON = -35.062306
  PRODUCT_UR_CORNER_LAT = -7.463579
  PRODUCT_UR_CORNER_LON = -34.796005
  PRODUCT_LL_CORNER_LAT = -8.422428
  PRODUCT_LL_CORNER_LON = -35.067103
  PRODUCT_LR_CORNER_LAT = -8.423743
  PRODUCT_LR_CORNER_LON = -34.800184
  PRODUCT_UL_CORNER_MAPX = 272400.000000
  PRODUCT_UL_CORNER_MAPY = 9174600.000000
  PRODUCT_UR_CORNER_MAPX = 301800.000000
  PRODUCT_UR_CORNER_MAPY = 9174600.000000
  PRODUCT_LL_CORNER_MAPX = 272400.000000
  PRODUCT_LL_CORNER_MAPY = 9068400.000000
  PRODUCT_LR_CORNER_MAPX = 301800.000000
  PRODUCT_LR_CORNER_MAPY = 9068400.000000
  PRODUCT_SAMPLES = 981
  PRODUCT_LINES = 3541
```

BAND1_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B001_L1GST.TIF"
BAND2_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B002_L1GST.TIF"
BAND3_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B003_L1GST.TIF"
BAND4_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B004_L1GST.TIF"
BAND5_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B005_L1GST.TIF"
BAND6_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B006_L1GST.TIF"
BAND7_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B007_L1GST.TIF"
BAND8_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B008_L1GST.TIF"
BAND9_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B009_L1GST.TIF"
BAND10_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B010_L1GST.TIF"
BAND11_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B011_L1GST.TIF"
BAND12_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B012_L1GST.TIF"
BAND13_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B013_L1GST.TIF"
BAND14_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B014_L1GST.TIF"
BAND15_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B015_L1GST.TIF"
BAND16_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B016_L1GST.TIF"
BAND17_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B017_L1GST.TIF"
BAND18_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B018_L1GST.TIF"
BAND19_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B019_L1GST.TIF"
BAND20_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B020_L1GST.TIF"
BAND21_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B021_L1GST.TIF"
BAND22_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B022_L1GST.TIF"
BAND23_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B023_L1GST.TIF"
BAND24_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B024_L1GST.TIF"
BAND25_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B025_L1GST.TIF"
BAND26_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B026_L1GST.TIF"
BAND27_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B027_L1GST.TIF"
BAND28_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B028_L1GST.TIF"
BAND29_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B029_L1GST.TIF"
BAND30_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B030_L1GST.TIF"
BAND31_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B031_L1GST.TIF"
BAND32_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B032_L1GST.TIF"
BAND33_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B033_L1GST.TIF"
BAND34_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B034_L1GST.TIF"
BAND35_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B035_L1GST.TIF"
BAND36_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B036_L1GST.TIF"
BAND37_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B037_L1GST.TIF"
BAND38_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B038_L1GST.TIF"
BAND39_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B039_L1GST.TIF"
BAND40_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B040_L1GST.TIF"
BAND41_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B041_L1GST.TIF"
BAND42_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B042_L1GST.TIF"
BAND43_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B043_L1GST.TIF"
BAND44_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B044_L1GST.TIF"
BAND45_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B045_L1GST.TIF"
BAND46_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B046_L1GST.TIF"
BAND47_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B047_L1GST.TIF"
BAND48_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B048_L1GST.TIF"
BAND49_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B049_L1GST.TIF"
BAND50_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B050_L1GST.TIF"

BAND51_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B051_L1GST.TIF"
BAND52_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B052_L1GST.TIF"
BAND53_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B053_L1GST.TIF"
BAND54_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B054_L1GST.TIF"
BAND55_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B055_L1GST.TIF"
BAND56_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B056_L1GST.TIF"
BAND57_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B057_L1GST.TIF"
BAND58_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B058_L1GST.TIF"
BAND59_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B059_L1GST.TIF"
BAND60_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B060_L1GST.TIF"
BAND61_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B061_L1GST.TIF"
BAND62_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B062_L1GST.TIF"
BAND63_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B063_L1GST.TIF"
BAND64_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B064_L1GST.TIF"
BAND65_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B065_L1GST.TIF"
BAND66_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B066_L1GST.TIF"
BAND67_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B067_L1GST.TIF"
BAND68_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B068_L1GST.TIF"
BAND69_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B069_L1GST.TIF"
BAND70_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B070_L1GST.TIF"
BAND71_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B071_L1GST.TIF"
BAND72_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B072_L1GST.TIF"
BAND73_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B073_L1GST.TIF"
BAND74_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B074_L1GST.TIF"
BAND75_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B075_L1GST.TIF"
BAND76_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B076_L1GST.TIF"
BAND77_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B077_L1GST.TIF"
BAND78_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B078_L1GST.TIF"
BAND79_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B079_L1GST.TIF"
BAND80_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B080_L1GST.TIF"
BAND81_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B081_L1GST.TIF"
BAND82_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B082_L1GST.TIF"
BAND83_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B083_L1GST.TIF"
BAND84_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B084_L1GST.TIF"
BAND85_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B085_L1GST.TIF"
BAND86_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B086_L1GST.TIF"
BAND87_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B087_L1GST.TIF"
BAND88_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B088_L1GST.TIF"
BAND89_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B089_L1GST.TIF"
BAND90_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B090_L1GST.TIF"
BAND91_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B091_L1GST.TIF"
BAND92_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B092_L1GST.TIF"
BAND93_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B093_L1GST.TIF"
BAND94_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B094_L1GST.TIF"
BAND95_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B095_L1GST.TIF"
BAND96_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B096_L1GST.TIF"
BAND97_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B097_L1GST.TIF"
BAND98_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B098_L1GST.TIF"
BAND99_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B099_L1GST.TIF"
BAND100_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B100_L1GST.TIF"

BAND101_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B101_L1GST.TIF"
BAND102_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B102_L1GST.TIF"
BAND103_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B103_L1GST.TIF"
BAND104_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B104_L1GST.TIF"
BAND105_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B105_L1GST.TIF"
BAND106_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B106_L1GST.TIF"
BAND107_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B107_L1GST.TIF"
BAND108_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B108_L1GST.TIF"
BAND109_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B109_L1GST.TIF"
BAND110_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B110_L1GST.TIF"
BAND111_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B111_L1GST.TIF"
BAND112_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B112_L1GST.TIF"
BAND113_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B113_L1GST.TIF"
BAND114_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B114_L1GST.TIF"
BAND115_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B115_L1GST.TIF"
BAND116_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B116_L1GST.TIF"
BAND117_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B117_L1GST.TIF"
BAND118_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B118_L1GST.TIF"
BAND119_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B119_L1GST.TIF"
BAND120_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B120_L1GST.TIF"
BAND121_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B121_L1GST.TIF"
BAND122_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B122_L1GST.TIF"
BAND123_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B123_L1GST.TIF"
BAND124_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B124_L1GST.TIF"
BAND125_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B125_L1GST.TIF"
BAND126_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B126_L1GST.TIF"
BAND127_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B127_L1GST.TIF"
BAND128_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B128_L1GST.TIF"
BAND129_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B129_L1GST.TIF"
BAND130_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B130_L1GST.TIF"
BAND131_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B131_L1GST.TIF"
BAND132_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B132_L1GST.TIF"
BAND133_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B133_L1GST.TIF"
BAND134_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B134_L1GST.TIF"
BAND135_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B135_L1GST.TIF"
BAND136_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B136_L1GST.TIF"
BAND137_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B137_L1GST.TIF"
BAND138_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B138_L1GST.TIF"
BAND139_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B139_L1GST.TIF"
BAND140_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B140_L1GST.TIF"
BAND141_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B141_L1GST.TIF"
BAND142_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B142_L1GST.TIF"
BAND143_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B143_L1GST.TIF"
BAND144_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B144_L1GST.TIF"
BAND145_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B145_L1GST.TIF"
BAND146_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B146_L1GST.TIF"
BAND147_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B147_L1GST.TIF"
BAND148_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B148_L1GST.TIF"
BAND149_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B149_L1GST.TIF"
BAND150_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B150_L1GST.TIF"

BAND151_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B151_L1GST.TIF"
BAND152_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B152_L1GST.TIF"
BAND153_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B153_L1GST.TIF"
BAND154_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B154_L1GST.TIF"
BAND155_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B155_L1GST.TIF"
BAND156_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B156_L1GST.TIF"
BAND157_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B157_L1GST.TIF"
BAND158_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B158_L1GST.TIF"
BAND159_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B159_L1GST.TIF"
BAND160_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B160_L1GST.TIF"
BAND161_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B161_L1GST.TIF"
BAND162_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B162_L1GST.TIF"
BAND163_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B163_L1GST.TIF"
BAND164_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B164_L1GST.TIF"
BAND165_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B165_L1GST.TIF"
BAND166_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B166_L1GST.TIF"
BAND167_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B167_L1GST.TIF"
BAND168_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B168_L1GST.TIF"
BAND169_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B169_L1GST.TIF"
BAND170_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B170_L1GST.TIF"
BAND171_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B171_L1GST.TIF"
BAND172_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B172_L1GST.TIF"
BAND173_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B173_L1GST.TIF"
BAND174_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B174_L1GST.TIF"
BAND175_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B175_L1GST.TIF"
BAND176_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B176_L1GST.TIF"
BAND177_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B177_L1GST.TIF"
BAND178_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B178_L1GST.TIF"
BAND179_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B179_L1GST.TIF"
BAND180_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B180_L1GST.TIF"
BAND181_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B181_L1GST.TIF"
BAND182_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B182_L1GST.TIF"
BAND183_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B183_L1GST.TIF"
BAND184_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B184_L1GST.TIF"
BAND185_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B185_L1GST.TIF"
BAND186_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B186_L1GST.TIF"
BAND187_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B187_L1GST.TIF"
BAND188_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B188_L1GST.TIF"
BAND189_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B189_L1GST.TIF"
BAND190_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B190_L1GST.TIF"
BAND191_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B191_L1GST.TIF"
BAND192_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B192_L1GST.TIF"
BAND193_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B193_L1GST.TIF"
BAND194_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B194_L1GST.TIF"
BAND195_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B195_L1GST.TIF"
BAND196_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B196_L1GST.TIF"
BAND197_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B197_L1GST.TIF"
BAND198_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B198_L1GST.TIF"
BAND199_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B199_L1GST.TIF"
BAND200_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B200_L1GST.TIF"

```
BAND201_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B201_L1GST.TIF"
BAND202_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B202_L1GST.TIF"
BAND203_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B203_L1GST.TIF"
BAND204_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B204_L1GST.TIF"
BAND205_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B205_L1GST.TIF"
BAND206_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B206_L1GST.TIF"
BAND207_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B207_L1GST.TIF"
BAND208_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B208_L1GST.TIF"
BAND209_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B209_L1GST.TIF"
BAND210_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B210_L1GST.TIF"
BAND211_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B211_L1GST.TIF"
BAND212_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B212_L1GST.TIF"
BAND213_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B213_L1GST.TIF"
BAND214_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B214_L1GST.TIF"
BAND215_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B215_L1GST.TIF"
BAND216_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B216_L1GST.TIF"
BAND217_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B217_L1GST.TIF"
BAND218_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B218_L1GST.TIF"
BAND219_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B219_L1GST.TIF"
BAND220_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B220_L1GST.TIF"
BAND221_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B221_L1GST.TIF"
BAND222_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B222_L1GST.TIF"
BAND223_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B223_L1GST.TIF"
BAND224_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B224_L1GST.TIF"
BAND225_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B225_L1GST.TIF"
BAND226_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B226_L1GST.TIF"
BAND227_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B227_L1GST.TIF"
BAND228_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B228_L1GST.TIF"
BAND229_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B229_L1GST.TIF"
BAND230_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B230_L1GST.TIF"
BAND231_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B231_L1GST.TIF"
BAND232_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B232_L1GST.TIF"
BAND233_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B233_L1GST.TIF"
BAND234_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B234_L1GST.TIF"
BAND235_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B235_L1GST.TIF"
BAND236_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B236_L1GST.TIF"
BAND237_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B237_L1GST.TIF"
BAND238_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B238_L1GST.TIF"
BAND239_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B239_L1GST.TIF"
BAND240_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B240_L1GST.TIF"
BAND241_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B241_L1GST.TIF"
BAND242_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_B242_L1GST.TIF"
METADATA_L1_FILE_NAME = "EO1H2140652014059110KG_MTL_L1GST.TXT"
CPF_FILE_NAME = "EO1ACPF20131201_20140228.01"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = RADIANCE_SCALING
  SCALING_FACTOR_VNIR = 40
  SCALING_FACTOR_SWIR = 80
END_GROUP = RADIANCE_SCALING
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
```

```
CORRECTION_METHOD_GAIN = "NONE"
CORRECTION_METHOD_BIAS = "NONE"
SENSOR_LOOK_ANGLE = -5.9064
SUN_AZIMUTH = 93.007713
SUN_ELEVATION = 46.835501
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
  ABNORMAL_PIXELS = "Y"
  INOPERABLE_DETECTORS = "Y"
  STRIPING = "N"
  ELEVATION_SOURCE = "SRTM-2"
END_GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
  REFERENCE_DATUM = "WGS84"
  REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
  GRID_CELL_SIZE = 30.00
  ORIENTATION = "NUP"
  RESAMPLING_OPTION = "CC"
  MAP_PROJECTION = "UTM"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
GROUP = UTM_PARAMETERS
  ZONE_NUMBER = -25
END_GROUP = UTM_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```