

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/3: 493-509
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM ÁREAS URBANAS DE BRASÍLIA

Change Detection Techniques in Brasilia urban Areas

Tiago Josué Diedrich¹ & Igor da Silva Narvaes²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espacial
para a América Latina e Caribe - CRECTEALC
Avenida Roraima, 1000. Caixa Postal: 5021. Campus da UFSM,
Santa Maria – RS. Cep: 97105-970
tiago_diedrich@yahoo.com.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional Sul - CRS
Avenida Roraima, 1000. Caixa Postal: 5021. Campus da UFSM,
Santa Maria – RS. Cep: 97105-970
igor@dsr.inpe.br

Recebido em 31 de julho, 2012/ Aceito em 09 de dezembro, 2012
Received on July 31, 2012/ Accepted on December 09, 2012

RESUMO

De uma maneira geral, as atividades de planejamento urbano são um dos principais agentes causadores das mudanças na paisagem. Assim, Brasília - DF oferece bons exemplos da problemática relacionada à expansão urbana exacerbada, ocasionada por um processo de crescimento demográfico expressivo. Portanto, esse trabalho tem por finalidade identificar a melhor técnica de detecção de mudanças que permita discriminar modificações multitemporais em alvos urbanos específicos, através da ferramenta *change detection* do software **Environment for Visualizing Images** (ENVI), bem como propor uma metodologia para tal, a qual aborda um processamento digital de imagens, a partir de dados orbitais extraídos de cenas HRC/CBERS-2B, dos anos de 2008 e 2009, no Plano Piloto. As mudanças multitemporais, ocorridas nesta análise, evidenciaram que a técnica de diferença simples padronizada adequou-se melhor para os alvos considerados como construções e solo exposto; a diferença simples normalizada para regiões alagadas, enquanto que para embarcações o melhor resultado foi a técnica de diferença percentual, apesar da técnica de diferença simples padronizada ter sido também considerada satisfatória. Assim, a imagem resultante indicou o alvo quanto à forma de ocorrência da mudança e a mensurou o mais próximo do real.

Palavras chaves: ENVI, Detecção de Mudanças, Área Urbana.

ABSTRACT

In General, the human's planning activities are one of the major causative agents of landscapes modifications. Thus, Brasília - DF, offers good examples of the problems related to urban exacerbated expansion, caused by a process of expressive population growth. Therefore, this work aims to identify the best change detection technique to discriminate multitemporal modifications in specific urban targets in the Brazil's capital through the Environment for Visualizing Images software (ENVI) change detection tools. For that, the methodology employed includes the digital image processing of 2008 and 2009 HRC/CBERS-2B scenes of the city of Brasília. Through the products generated by the tool, the alterations on the ground showed themselves prominently on the best response techniques, with assertiveness, indicating where the change occurred and its measure. The multitemporal changes occurring in this analysis showed that the standardize simple difference technique has adapted better to targets considered as buildings and bare soil; the normalized simple difference technique to flooded areas, while the best result for boats was the percentage difference technique, in spite of the standardize simple difference technique has also been considered satisfactory. Thus, the resulting image indicated the target according the kind of change and measured it as close to real.

Keywords: ENVI, Change Detection, Urban Area.

1. INTRODUÇÃO

Para Singh (1989), detecção de mudanças é definida como o processo de identificação de diferenças no estado de um objeto ou fenômeno.

Para este autor, por sua observação em intervalos diferenciados de tempo, a detecção de mudanças envolve a habilidade de quantificar os efeitos temporais, utilizando um conjunto de dados multitemporais.

Logo, a utilização da técnica de sensoriamento remoto é vista como uma importante fonte de conhecimentos para monitorar a superfície terrestre, pois imagens satelitais registram informações e desempenham um papel significativo na capacidade de analisar uma área específica (JONG *et al.*, 2006).

Sob esta ótica, Moreira (2011) cita que a alteração atmosférica decorrente da diferença temporal entre imagens, mudanças na vegetação e as características do sensor são relevantes na avaliação de detecção de mudanças.

Assim sendo, por ocasião do registro das cenas imageadas, sabe-se que o sinal da radiação eletromagnética, coletada pelos satélites - por exemplo - modifica-se, devido ao espalhamento e à absorção de gases e aerossóis presentes na atmosfera terrestre (SONG *et al.*, 2001). Para esta correção existem diferentes técnicas, entretanto, quando e como efetuá-las, dependerá do sensor remoto, do dado atmosférico disponível, da informação desejada e do método analítico utilizado para extrair tal informação.

Segundo Jasani *et al.* (2009), em certas ocasiões, uma determinada técnica de detecção de

mudanças pode conter erros e, uma das formas de minimizar esta falha está relacionada à comparação de distintas técnicas de detecção, com o objetivo de avaliar qual prática fornece informações e resultados mais fidedignos.

Logo, a geração de produtos de detecção de mudanças, em áreas urbanas, é realizada basicamente de duas formas: interpretação visual e método automático. Embora a segunda seja considerada como um artifício rápido e fácil, caso não esteja embasada pela primeira, através de experiência e de informações de pessoas que conhecem o local, pode gerar informações falsas, possibilitando a classificação errônea de determinados tipos de alvos, ou, simplesmente, omitir alguns objetos presentes na cena (TSO *et al.*, 2009).

Com isto, a identificação no terreno é de fundamental importância, pois o método automático é capaz de realçar e extrair diferenças entre imagens, podendo ser utilizadas para avaliação de expansão urbana, evidenciando os mais variados resultados, tais como: construções de prédios, bairros, loteamentos, casas, calçamentos... (LILLESAND *et al.*, 2007).

Para tanto, a identificação de mudanças em regiões urbanas, através de cenas multitemporais, pode ser aperfeiçoada, permitindo uma maior integridade das informações, atrelado a aquisição de resultados de processamentos condizentes.

Portanto, surge a necessidade de se estudar melhor distintas técnicas de detecção de mudanças e, assim, avaliar qual delas gera melhor resultado para áreas que englobam cidades em processo de

crescimento urbano. Esta abordagem, do caráter evolutivo das técnicas existentes utilizadas para a detecção de mudanças, pode ser vistas em Singh (1989) e Canty (2007).

Outras técnicas e metodologias, utilizando os mais diversos insumos e ferramentais disponíveis em *softwares* específicos, são descritas em Gamba *et al.* (2006); Celik (2010); Bessa (2011), entre outros. Todavia, apesar de existirem elementos e recursos para identificar as alterações em imagens multitemporais, infelizmente ainda não há um método universalmente aceito, como padrão perfeito, para detectar tais modificações (JENSEN, 2009).

Por este motivo, a cidade de Brasília foi escolhida como área de pesquisa para esse estudo, por apresentar, nos últimos anos, um rápido processo de expansão populacional e urbanística (GDF, 2011).

2. OBJETIVO

Neste contexto, o trabalho tem como objetivo apontar as modificações ocorridas em setores urbanos específicos da cidade de Brasília - DF, no intuito de discriminar com eficiência as regiões com mudanças multitemporais, bem como mensurar a sua respectiva área, utilizando diferentes técnicas de detecção de mudanças.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) está inserida a leste do estado de Goiás e abrange o plano urbanístico da cidade de Brasília - DF, totalizando em torno de 10.000 (dez mil) hectares de extensão territorial para análise.

A cidade de Brasília situa-se a uma altitude de 1.000 a 1.200 metros acima do nível do mar, no Planalto Central, cujo relevo é na maior parte plano, apresentando leves ondulações. A vegetação é predominantemente típica de cerrado, podendo-se observar lugares alguns pinheiros (GDF, 2011).

Segundo a classificação ambiental de Köppen-Geiger, baseada em dados mensais pluviométricos e termométricos, a cidade de Brasília possui tipo climático Cwa, tropical de altitude de savana (verão úmido e chuvoso, inverno seco e frio).

A temperatura média anual é de 20,6°C, sendo que a máxima pode chegar a 35,8°C e a mínima a 1,6°C. A umidade relativa do ar alcança valores considerados críticos (inferior a 10%) ao longo dos períodos de seca, em setembro. Já os períodos de dezembro, janeiro e fevereiro

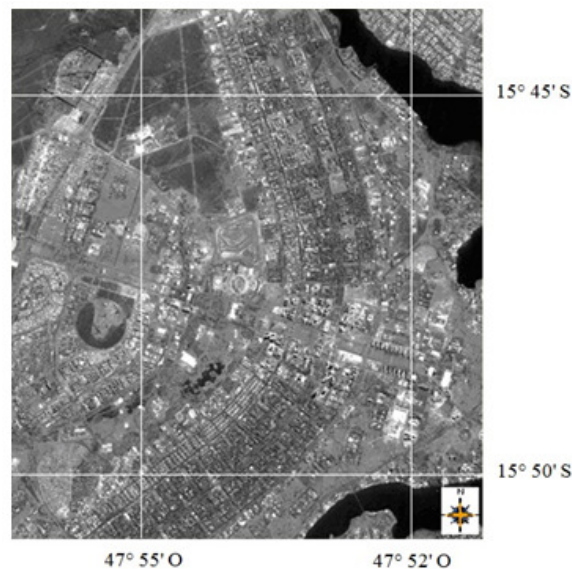


Fig. 1 - Imagem pancromática do sensor HRC/CBERS-2B representando o Plano Piloto de Brasília - DF.

apresentam chuvas. Os meses mais frios ocorrem em junho e julho, enquanto que os mais quentes em outubro e novembro (CPTEC, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Imagens orbitais

Foram utilizadas imagens do sensor *High Resolution Camera* (HRC) - Câmera Pancromática de Alta Resolução (resolução espacial de 2,5 m) - do satélite CBERS-2B, da mesma região, disponíveis para *download* através do site da Divisão de Geração de Imagens (INPE/DGI - <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>).

Os imageamentos foram realizados em 05/06/2008 e 21/08/2009, sob a órbita/ponto 157_B/118_1 (Figura 2), selecionadas para avaliação de mudanças pela baixa cobertura de nuvens das cenas.

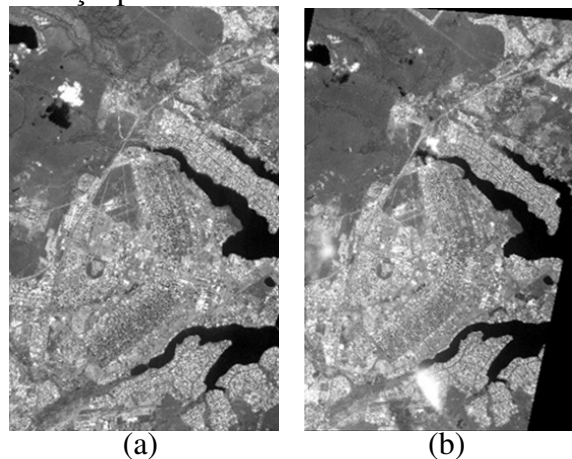


Fig. 2 - Recorte da Imagem Pancromática do sensor HRC/CBERS - 2B do ano de 2008 (a) e de 2009 (b).

A projeção cartográfica empregada foi a *Universal Transverse Mercator* (UTM) e o *Datum* WGS84.

4.2 Trabalho de campo

Com o intuito de validar os alvos selecionados à priori, como de mudança efetiva na cidade de Brasília, foi realizada visita a campo em outubro de 2011, onde foram efetuados registros fotográficos *in loco* dos alvos pré-selecionados nas cenas HRC estudadas.

Estes foram localizados por GPS (*Global Position System*) e serviram de base para o procedimento de avaliação pontual, quanto à forma e o material constituinte dos alvos, bem como apresentaram a veracidade das informações processadas e a área alterada. Isto propiciou saber qual técnica mais se aproximou do resultado real.

4.3 Ferramenta de detecção de mudanças do ENVI

Em seguida, foi aplicada a ferramenta de detecção *change detection*, do ENVI, gerando dois resultados e, após isso, tais produtos passaram por uma operação de normalização e de padronização, ou seja, um tratamento adicional definido simultaneamente pelo operador, originando outras 4 (quatro) imagens.

Para a escolha da melhor técnica de detecção de mudanças, foram avaliadas as 6 (seis) diferentes imagens processadas.

Logo, a metodologia orienta para análise das distintas técnicas de detecção de mudanças, onde os dados de uma imagem são integrados com os dados da outra, passando por um processo de correlação automática, gerando os seguintes resultados:

- a) Imagem Diferença Simples;
- b) Imagem Diferença Simples Normalizada;
- c) Imagem Diferença Simples Padronizada;
- d) Imagem Diferença Percentual;
- e) Imagem Diferença Percentual Normalizada;
- f) Imagem Diferença Percentual Padronizada.

Assim sendo, para este estudo, todos os 6 (seis) produtos foram definidos como 6 (seis) distintas técnicas de detecção de mudança, elucidadas em ENVI (2011), cujo processamento é definido a seguir:

4.3.1 Simple Difference (Diferença Simples)

Constitui-se em uma diferença simples, através de matemática de bandas, gerada automaticamente pelo *software*, na qual é adquirido um resultado através dos valores do estado da matriz final menos os valores do estado da matriz inicial, com ambas as cenas já corrigidas (Equação 1). É importante ressaltar que os valores de diferença simples apresentam relação direta com os valores de níveis de cinza da cena trabalhada, em escala linear.

$$\text{Simple difference} = [\text{DN(f)} - \text{DN(i)}] \quad (1)$$

Onde:

DN(f) = valores matriciais do estado final; e
DN(i) = valores matriciais do estado inicial.

4.3.2 Percent difference (diferença percentual)

É uma matemática de bandas que executa a diferença simples dividida pela banda da matriz do estado inicial (Equação 2). Ao contrário da diferença simples, os valores de diferença percentual associam-se com os níveis de cinza, assumindo resultados em escala percentual. Logo, quanto mais próximos os valores dos pixels correspondentes entre as duas matrizes, menor será a representação de mudanças.

$$\text{Percent difference} = \frac{\text{DN(f)} - \text{DN(i)}}{\text{DN(i)}} \quad (2)$$

Onde:

DN(f) = valores matriciais do estado final; e
DN(i) = valores matriciais do estado inicial.

4.3.3 Normalize Data Range (Normalização do Intervalo de Dados)

Esse processamento executa uma normalização no produto gerado, através da subtração do número digital da matriz inicial pelo menor valor da grade, dividindo esse resultado pela subtração entre o valor digital máximo e o valor digital mínimo (Equação 3). Essa operação é um método de refinamento da diferença simples e da diferença percentual, gerando duas novas imagens.

$$\text{Normalize Data Range} = \frac{\text{DN} - \text{DN}_{\min}}{\text{DN}_{\max} - \text{DN}_{\min}} \quad (3)$$

Onde:

DN = nível de cinza (*digital number*);

DNmin = menor valor numérico da matriz; e

DNmax = maior valor numérico da matriz.

4.3.4 Standardize to Unit Variance (Padronização para Unidades de Variância)

Esse processamento executa uma unificação, homogeneizando os valores dos pixels, realizando uma padronização por unidade de variância da cena, ou seja, subtrai o número digital da matriz pelo valor médio da mesma e, em seguida, divide esse resultado pelo valor da variância (desvio padrão ao quadrado) da grade (Equação 4). Essa operação também é um método de refinamento da diferença simples e da diferença percentual, a qual gera outras duas imagens.

$$\text{Standardize to Unit Variance} = \frac{\text{DN} - \text{DN}_{\text{médio}}}{\sigma^2} \quad (4)$$

Onde:

DN = nível de cinza (*digital number*);

DNmédio = médio valor numérico da matriz;

e σ^2 = variância.

4.4 Definição do número de classes

Sabendo que a escolha do número de classes não altera a estatística das técnicas propriamente ditas (ENVI, 2011), e que este número depende de quantos níveis de discretização (magnitude ou tonalidade) o usuário pretende impor na análise de mudanças, foi realizado um teste prévio para a definição do número de classes. Esta análise demonstrou que houve conservação proporcional dos valores da área em diferentes tonalidades, quando utilizado um total de 11 classes, padrão pré-definido pelo *software*, divididas como segue:

- Classes de 01 a 05: tons variados de vermelho (representam “mudança”);
- Classe 06: cinza. Sem identificação de variação significativa (classe central, neutra); e
- Classes de 07 a 11: tons variados de azul (representam as “não mudanças”).

4.5 Definição das áreas de mudanças

Após essa etapa, procedeu-se um novo recorte, somente sobre os alvos específicos considerados como regiões que apresentaram mudança. Esse artifício foi necessário para auxiliar no cálculo das áreas, além de identificar quanto à forma do alvo em questão.

Em adição, foram previamente descartadas da análise as áreas que possuíam interferência significativa na resposta espectral dos alvos, principalmente quanto ao efeito causado por distintos padrões atmosféricos (nuvens, brumas, aerossóis, entre outros) e ao ângulo de chegada da energia eletromagnética no sensor (ângulo de inclinação solar) (JENSEN, 2009).

De acordo com Tso *et al.* (2009), estes são fatores que encobrem as características do terreno, por não permitirem que a radiação chegue ao sensor, evidenciando “falsos positivos”. Logo, neste estudo, a correção atmosférica mostrou-se ineficaz, sendo descartada.

Assim sendo, foi empregada a construção de uma máscara, posterior à vetorização da área de interesse (*Region Of Interest* - ROI), especificada na imagem 2009, como sendo área de mudança real. Essa máscara serviu como instrumento para mensurar a área modificada no interior da ROI, propiciando o cálculo correto da extensão territorial alterada para cada imagem resultante.

Após isso, efetuou-se a escolha da técnica de detecção de mudança que apresentou o melhor saldo de informações, ou seja, que identificou com assertividade, quanto à forma, as regiões que sofreram alterações multitemporais, e mensurou corretamente a área afetada.

Estes resultados foram efetuados sobre áreas onde houve variação em relação ao tipo de alvos considerados potenciais. Assim, como forma de subdividir e validar os resultados, estas regiões foram utilizadas na avaliação das técnicas de detecção de mudança, conforme é descrito: construção, solo exposto, região alagada e embarcações.

As demais “imagens resultado” foram descartadas.

Ressalta-se, ainda, que foi realizado o correto registro da imagem pancromática de 2008 (base), com a cena de 2009, coletando-se 18 pontos de controle. Utilizou-se do método polinomial de primeiro grau, com amostragem pelo vizinho mais próximo.

4.6 Avaliação do correto registro

Os 18 (dezoito) pontos de controle, distribuídos uniformemente sobre o setor de importância para o estudo urbanístico de Brasília, apresentaram um erro médio quadrático (EMQ) de 0,998, ou seja, inferior a 1 pixel, considerado ideal para essa análise.

A qualidade e precisão da correlação, entre os elementos de resolução de imagens multitemporais, serviram de base para realizar todo o trabalho de processamento de imagens, de tal forma que o mesmo elemento de resolução tenha correspondência entre as imagens multitemporais analisadas, pois de acordo com Dai e Khorram (1998), os resultados oriundos de uma análise de “mudanças falsas” são um indicativo de uma degradação substancial na acurácia dos insumos de sensoriamento remoto, quando na detecção de mudanças devido a erros de registro.

Após, as imagens foram recortadas e salvas no formato *ENVI Standard*, gerando um arquivo com projeção UTM, Zona 23 Sul e resolução espacial de 2,5m. Estas informações de projeção, *datum* e dimensão de pixel serviram apenas para gerar o “*Map Info*” do ENVI, dados requeridos pelo *software* na leitura da imagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Alvos analisados

Com o intuito de verificar a adequação das técnicas geradas neste *software*, foram avaliados diversos tipos de alvos, como segue:

5.1.1 Construção

O alvo refere-se a uma edificação com telhado metálico plano, na cor branca, denominado de Centro Aquático Ginásio Cláudio Coutinho, localizado a oeste do Estádio Mané Garrincha, Brasília - DF (latitude 15° 46' 59" Sul e longitude 47° 54' 07" Oeste). Na sequência é possível observar o registro fotográfico da estrutura (Figura 3).

A seguir é apresentado o alvo, identificado por um quadrado, considerado nesta análise, nas imagens HRC de 2008 (Figura 4a) e 2009 (Figura 4b).

Assim sendo, para análise desse alvo foram geradas 6 (seis) classificações subsequentes (Figura 5).

De acordo com a região de interesse, a qual representa a área que ocorreu a mudança (área total de 7.605,50 m²) nesta análise, o resultado das diferentes técnicas de detecção de mudanças são mostrados nas Tabelas 1 e 2 (diferença simples e diferença percentual, respectivamente).

Dentre as técnicas observadas, os resultados diferença simples (Figura 5c) e diferença percentual

(Figura 5f) não fornecem informações confiáveis das áreas onde efetivamente ocorreram mudanças, o primeiro por praticamente não discriminar as áreas de mudança e não mudança e, o segundo, por classificar apenas 26,8% da área corretamente como mudança.

Constata-se que na diferença simples (Figura 5c) tem-se um total de 100% da detecção de mudança, entretanto, apesar de ter sido a técnica de maior índice de detecção de mudanças, grande parte das áreas circunvizinhas também foi classificada como áreas efetivas de mudanças, sem de fato terem ocorrido. Essa região foi considerada com “falsos positivos” (comissão), tendo sido eleita como o pior resultado encontrado.

As imagens diferença simples normalizada (Figura 5d) e diferença percentual normalizada (Figura 5g) apresentaram valores estatísticos idênticos, conforme Tabelas 1 e 2, pois se sabe que essas duas técnicas possuem mesmo padrão de pós-processamento matemático (vide Equação 3, item 4.3.3), sendo que a apresentação numérica de cada pixel da matriz, na técnica de diferença simples normalizada é representada na escala linear,



Fig. 3 - Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011.

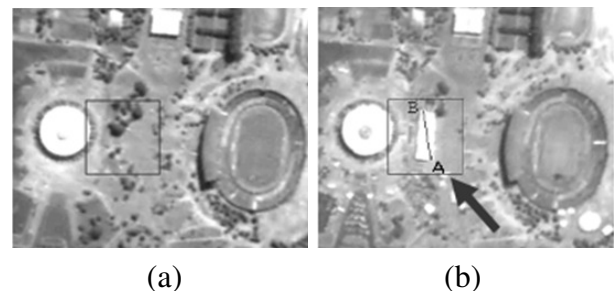


Fig. 4 - Imagens HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). A seta representa a posição e o sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo para a análise posterior das técnicas de detecção de mudanças.

Tabela 1: Análise das áreas mensuradas para diferença simples

	Diferença Simples	Diferença Simples Normalizada	Diferença Simples Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	100	99	94,5
Neutra	0	0,1	0
Não Mudança	0	0,9	5,5

Tabela 2: Análise das áreas mensuradas para diferença percentual

	Diferença Percentual	Diferença Percentual Normalizada	Diferença Percentual Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	26,8	99	53,6
Neutra	73,2	0,1	0
Não Mudança	0	0,9	46,4

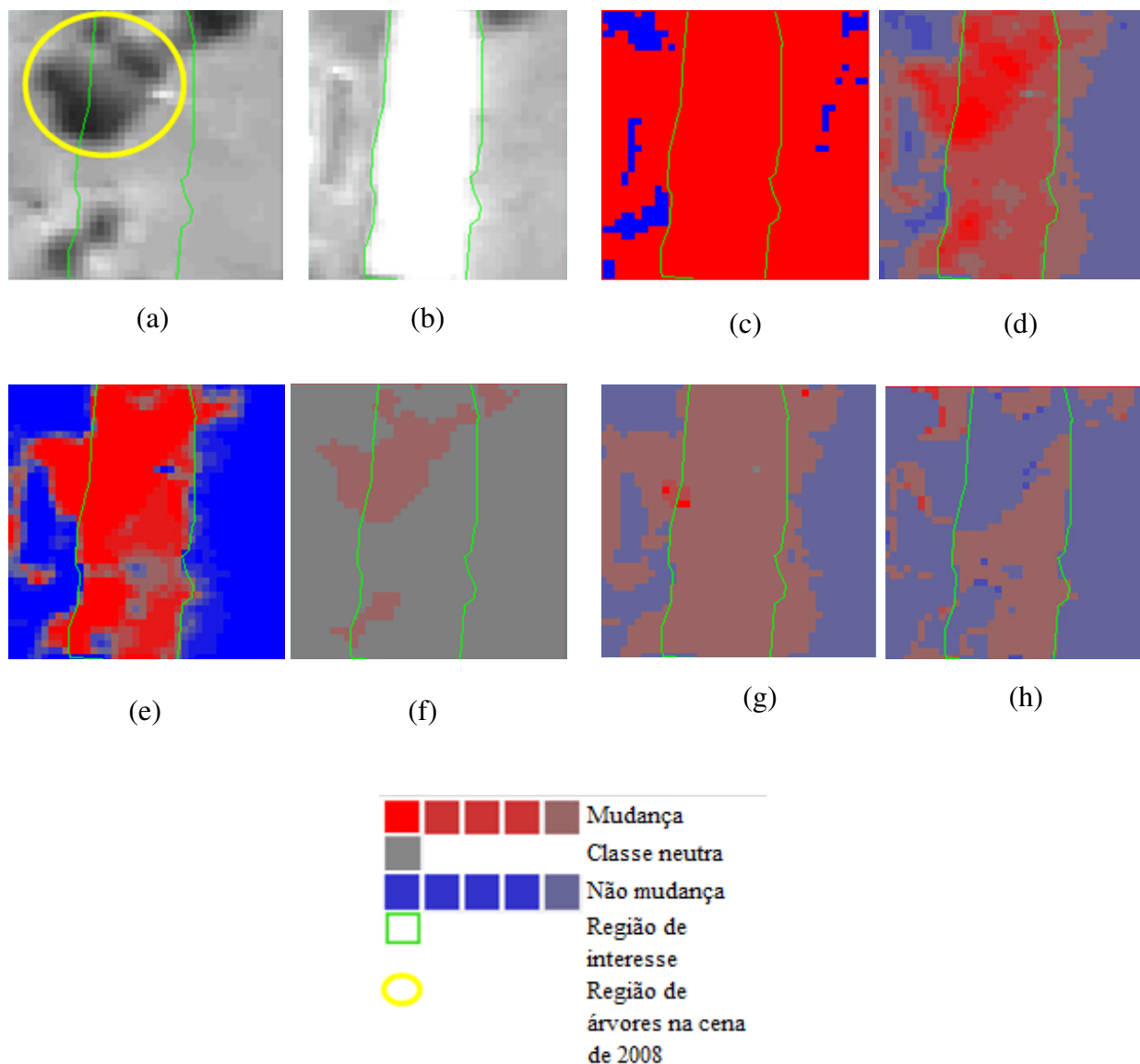


Fig. 5 - Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (h). A máscara que representa a região de interesse (ROI) é sobreposta em todas as imagens. A região de árvores na imagem 2008 é apresentada através do círculo.

enquanto que a diferença percentual normalizada é representada em escala percentual.

Esses dois últimos resultados exibiram ainda as mesmas proporcionalidades de “falsos positivos” nas vizinhanças, demonstrando menos eficácia quanto à detecção de áreas efetivas de mudanças.

Todavia, o resultado diferença simples normalizada (Figura 5d) obteve uma maior distinção visual entre os níveis de mudança (maiores tonalidades de vermelho), identificando melhor a instalação construída, traduzindo-se em uma informação útil, caso as discretizações com tonalidades menos intensas possam ser isoladas, através da operação de fatiamento, por exemplo.

Apesar de identificarem 99% da área da construção, a diferença simples normalizada (Figura 5d) e a diferença percentual normalizada (Figura 5g) obtiveram, ainda, muitos “falsos positivos”, se comparados com a diferença simples padronizada (Figura 5e). Esta última mostrou-se mais eficaz na delimitação do alvo efetivo de mudança, quanto à classificação correta das regiões de borda, além de ter classificado corretamente 94,5% da área de mudança efetiva, juntamente com a região arborizada.

Em contrapartida, a diferença simples normalizada (Fig. 5d) apresenta uma informação importante, ao classificar a região de árvores (região circular) como uma mudança visual mais intensa que as demais circunvizinhas.

Já a diferença percentual (Figura 5f) teve um alto índice na classe neutra (cinza), totalizando em 73,2% de área, e identificou corretamente apenas 26,8% da área efetiva de mudança. Esse resultado mostrou a ineficácia da técnica, tendo sido descartada.

A técnica diferença percentual padronizada (Figura 5h) evidenciou mudança em 53,6% de área, ou seja, praticamente metade da área real não foi classificada como tal, demonstrando novamente resultados não satisfatórios.

Assim sendo, devido às variações de níveis de cinza em alvos específicos, e ao referido “efeito de borda”, uma nova análise foi considerada fundamental neste estudo. O dado refere-se à variação dos níveis de cinza, em termos do número de amostras (pixels), fator importante a ser conceituado em uma avaliação visual.

Logo, abaixo é apresentada a análise destes valores de níveis de cinza, através do perfil espacial de um transecto (A-B), inserido sobre a região de

mudança (Figura 6a), podendo ser verificada a sua variação (Figura 6b).

Com essa análise, observa-se que há uma tendência de crescimento dos valores de níveis de cinza das “bordas” para o centro do alvo.

Assim sendo, a técnica diferença simples padronizada (Figura 5e) demonstrou estar mais adaptada a esta distribuição de níveis de cinza, identificada por variações em torno de 75 a 110 (Figura 6), tendo sido tratados assertivamente como mudança pelo aplicativo computacional para este caso específico.

5.1.2 Solo exposto

Com relação à área de solo exposto, foi observada uma região localizada entre a Avenida do Exército, Via Epaa e estrada Epaa (entroncamento em Y), ao norte do Quartel General do Exército Brasileiro (QG), em Brasília - DF (latitude 15° 45' 50" Sul e longitude 47° 54' 59" Oeste). A seguir, na Figura 7, observa-se o registro fotográfico da área em questão.

Na Figura 8 é possível visualizar a área de solo exposto considerada na análise, bem como observar o transecto (A-B), Figura 8b, para análise de níveis de cinza.

A Figura 9 mostra o resultado das 6 (seis) técnicas de detecção de mudanças para a área de solo exposto. (a)(b)(c)(d)(e)(f)(continua)(g)(h)

De acordo com a região de interesse, a qual representa a área que ocorreu a mudança (área total de 6.784,38 m²) nesta análise, o resultado das diferentes técnicas de detecção de mudança são

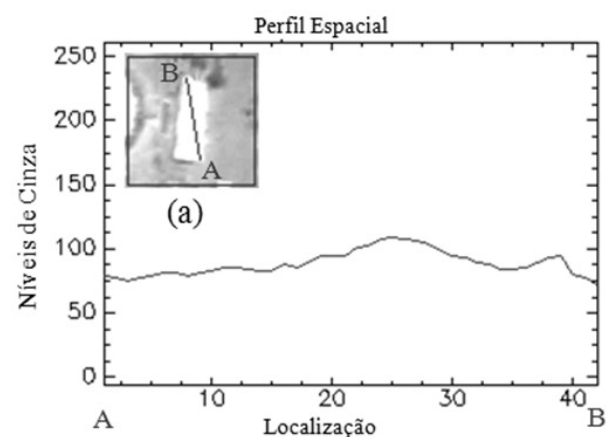


Fig. 6 - Trecho de imagem HRC 2009 (a) e o gráfico (b) que representa o perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza, entre o transecto (A-B).



Fig. 7 - Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011.



Fig. 8 - Imagens HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b), respectivamente. A seta representa a posição e o sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo para a análise posterior das técnicas de detecção de mudanças. O transecto A-B representa o estudo dos valores de níveis de cinza.

mostradas nas Tabelas 3 e 4 (diferença simples e diferença percentual, respectivamente).

Nesse caso, cabe a ressalva que houve o crescimento da vegetação da imagem HRC de 2008 (Figura 9a) para a imagem HRC de 2009 (Figura 9b). Portanto, a presença de mudanças na cobertura vegetal nas áreas circunvizinhas (mais pronunciada no setor nordeste da imagem) ao alvo em questão, já era esperada, não tendo sido considerada como um falso positivo.

Dentre as técnicas observadas, constatou-se que a diferença simples (Figura 9c), praticamente não agrega informações, mesmo possuindo um total de 100%, ou seja, a totalidade da área de análise classificada como mudança.

Embora exista, visualmente, uma mudança mais pronunciada, a técnica não é capaz de distinguir o que efetivamente mudou. Esse comportamento é similar ao encontrado, por essa mesma técnica, para

o caso de construção, analisada no tópico anterior. Entretanto, todas classificaram erroneamente regiões circunvizinhas, em diferentes graus de intensidade da área efetiva de mudanças, acarretando em erros de comissão (falsos positivos).

Nas técnicas diferença simples normalizada e diferença percentual normalizada, (Figuras 9d; 9g), respectivamente, apresentaram novamente detecção de mudança idêntica: 99,8%. Do mesmo modo, essas imagens mantiveram comportamento similar aos alvos de construção.

Também foram constatados, nesses dois resultados, os falsos positivos nas vizinhanças, evidenciando menos eficácia quanto à detecção de mudanças nas áreas que sofreram alterações. Entretanto, a diferença simples normalizada (Figura 9d) apresentou maior nível de discretização na área efetiva de mudança (tons de vermelho mais intensos), demonstrando que a mesma, se refinada por um fatiamento, por exemplo, pode obter resultados mais próximos às verdades de campo.

Assim sendo, essas duas técnicas identificaram praticamente toda área de mudança, porém com muito mais falsos positivos, sobretudo nas bordas da região de mudança e áreas circunvizinhas, se comparadas à técnica diferença simples padronizada (Figura 9e), a qual apresenta o resultado mais satisfatório.

A diferença percentual (Figura 9f) teve classe neutra de 57,8%, detectando mudança em apenas 42,2% de área analisada. Esse resultado mostrou-se não satisfatório e foi descartado.

A técnica diferença percentual padronizada (Figura 9h) aparenta efeitos visualmente opostos, quando comparada com a técnica diferença percentual (Figura 9f), devido à padronização de um modelo numérico em relação ao outro. Embora estas técnicas tenham demonstrado resultados opostos com relação à determinação de mudanças efetivas do alvo em análise, ambas obtiveram baixo percentual de detecção de mudança, com 47,7 e 42,2%, respectivamente.

Assim sendo, a diferença simples padronizada (Figura 9e), com 90,5% de área detectada efetivamente como mudança, mostrou ser mais adequada, evidenciada também pela correta delimitação das bordas.

Abaixo é apresentada a análise dos valores de níveis de cinza, através do perfil espacial do transecto (A-B) (Figura 10a), para região de solo

exposto, para verificar a variação dos níveis de cinza na Figura 10b.(b)

A análise pontual dos níveis de cinza apresenta pequena variação, demonstrando um comportamento singular, mesmo com a presença de grande quantidade de materiais diferentes no alvo (madeira, terra, areia, blocos de cimento, árvores, rochas, etc), identificando variações em torno de 63 a 101, ou seja, uma diferença de 38 níveis

Tabela 3: Análise das áreas mensuradas para diferença simples

	Diferença Simples	Diferença Simples Normalizada	Diferença Simples Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	100	99,8	90,5
Neutra	0	0	0
Não Mudança	0	0,2	9,5

distintos de cinza, apresentando-se muito semelhante ao tópico “construção”, analisado anteriormente.

Entretanto, devido a intensa movimentação de material e solo nesta área, a defasagem temporal de cerca de 2 anos pode não estar intimamente relacionado com a cobertura real do alvo no ano de 2009 (data de aquisição da imagem), o que de

Tabela 4: Análise das áreas mensuradas para diferença percentual

	Diferença Percentual	Diferença Percentual Normalizada	Diferença Percentual Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	42,2	99,8	47,7
Neutra	57,8	0	0
Não Mudança	0	0,2	52,3

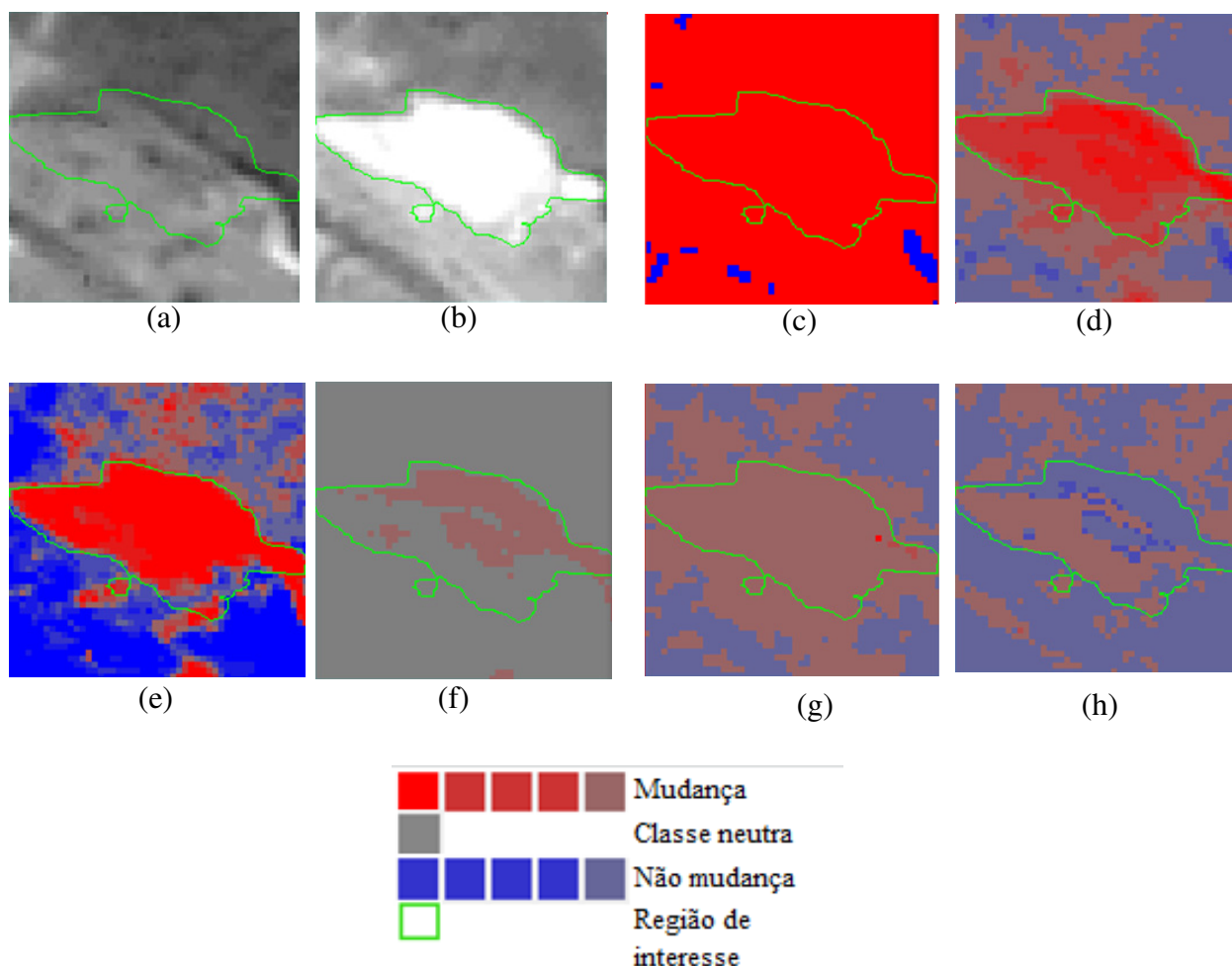


Fig. 9 - Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Na sequência, seguem as técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (h), utilizando 11 classes de detecção de mudanças. A região de interesse (ROI), na cor verde, é sobreposta em todas as imagens.

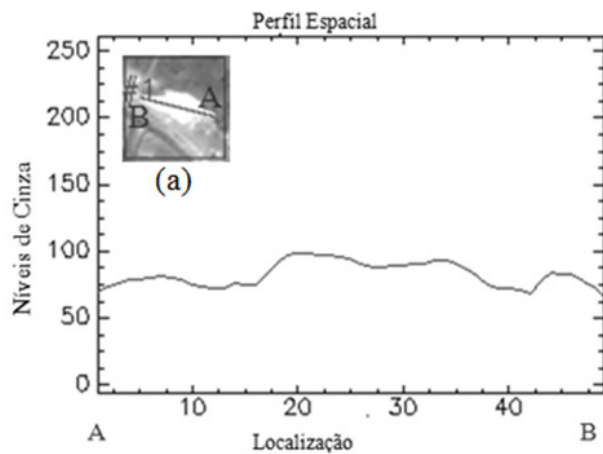


Fig. 10 - Representação do perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza.

certa forma justifica o comportamento supracitado (Figura 10).

5.1.3 Região alagada

Outra característica importante para análise refere-se a possíveis mudanças ocorridas em ambientes sujeitos aos alagamentos periódicos, ocasionados pela interferência antrópica em regiões urbanas ou pela ocorrência natural decorrente das condições de relevo.

Nesse contexto, a área alagada tomada para essa análise proporcionou uma particularidade na apresentação dos níveis de cinza que, ao invés de aparecerem claros (valores mais elevados), identificando mudanças como nos casos anteriores, neste se mostram escuros (valores mais baixos), necessitando de atenção por parte do intérprete, pois as mudanças nesse contexto são apresentadas em azul, e as não mudanças, em vermelho, como peculiaridade do *software* utilizado. Esse caso foi identificado como “exceção à regra”, pois as técnicas se apresentam associadas aos níveis de cinza da imagem.

Logo, a região analisada está sediada ao sul do mercado Carrefour (Setor de Oficinas Norte), localizado na Área Especial 1, conjunto A, Loja 200, Asa Norte, Brasília - DF (latitude 15° 45' 18" Sul e longitude 47° 55' 49" Oeste).

Na Figura 11 é possível observar um registro fotográfico da região de análise.

A Figura 12 (12a; 12b) representa o alvo por meio das imagens HRC de 2008 e 2009, respectivamente, onde é possível visualizar a área alagada considerada para análise, bem como o conjunto de segmentos dispostos na região central

do alvo, compondo o transecto (A-B) (Figura 12b), para análise dos níveis de cinza do setor de mudanças.

Assim sendo, a Figura 13 mostra o resultado das 6 (seis) técnicas de detecção de mudanças para a área alagada.

A região em análise, a qual representa a área de mudança real (área total de 11.083,75 m²), por intermédio da geração dos resultados das diferentes técnicas de detecção de mudança, constam nas Tabelas 5 e 6 (diferença simples e diferença percentual).

Os diferentes tons de vermelho neste caso representam a não mudança, enquanto que os tons de azul, representam as áreas classificadas como mudança, conforme a legenda da Figura 13. Observa-se, também, que os níveis de discretização demonstraram coerência nos resultados, haja vista



Fig. 11 - Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011.

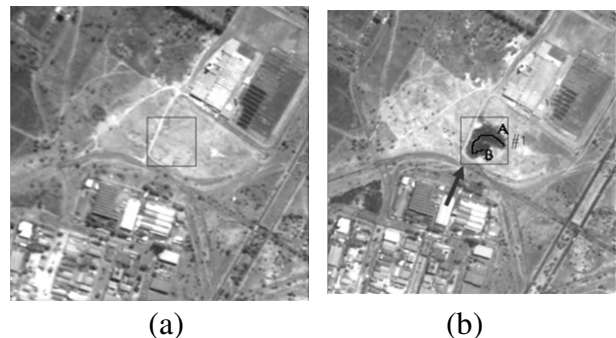


Fig. 12 - Imagens HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b), respectivamente. A seta representa a posição e o sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo para a análise posterior das técnicas de detecção de mudanças. O transecto A-B representa o conjunto de segmentos para o estudo dos valores de níveis de cinza.

necessidade de interpretação visual pelo analista das cenas resultantes.

Assim sendo, a imagem diferença simples (Figura 13c), obteve um total de 96,1% de área considerada como mudança. Esse processamento

apresentou características visuais bem semelhantes à imagem diferença simples padronizada (Figura 13e), diferença simples normalizada (Figura 13d) e diferença percentual normalizada (Figura 13g), embora evidencie a porcentagem de 89,8%, 94,5%

Tabela 5: Análise das áreas mensuradas para diferença simples

	Diferença Simples	Diferença Simples Normalizada	Diferença Simples Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	96,1	94,5	89,8
Neutra	0,1	0	0
Não Mudança	3,8	5,5	10,2

Tabela 6: Análise das áreas mensuradas para diferença percentual

	Diferença Percentual	Diferença Percentual Normalizada	Diferença Percentual Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	0	94,5	75,8
Neutra	100	0	0
Não Mudança	0	5,5	24,2

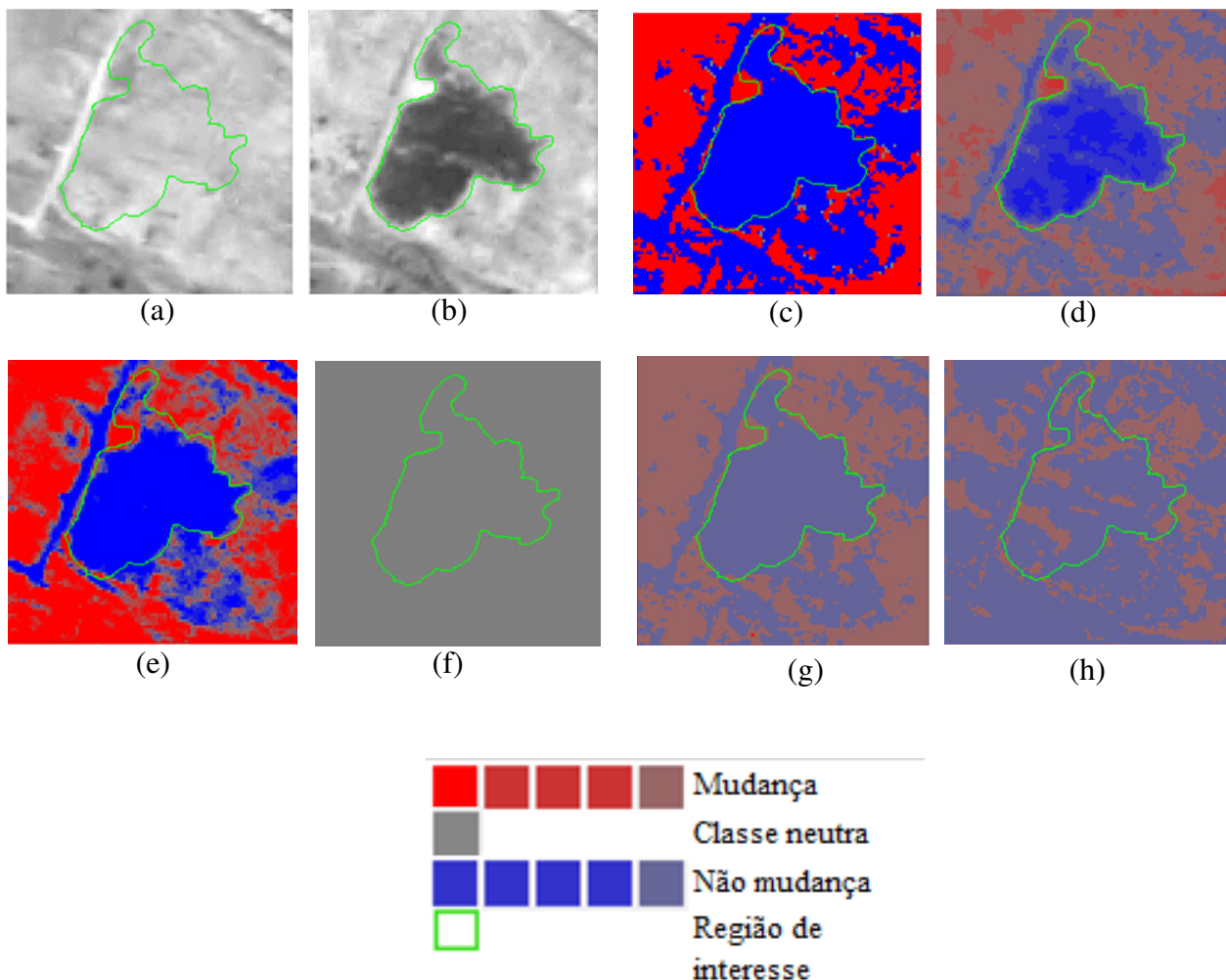


Fig. 13 - Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Na sequência, seguem as técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (h), utilizando 11 classes de detecção de mudanças. A região de interesse (ROI), na cor verde, é sobreposta em todas as imagens.

e 94,5% de área de mudança detectada, respectivamente.

Todas as quatro técnicas mencionadas no parágrafo anterior apresentaram alguns falsos positivos, além de exibirem erros de comissão nas bordas da região alterada. Isso denota comportamento similar quanto às classificações errôneas nas áreas circunvizinhas, similares aos casos anteriores. Porém a técnica diferença simples (Figura 13c) foi a única, dentre estas, que apresentou uma pequena porcentagem da região classificada como neutra, totalizada em 0,1% de área.

A diferença percentual (Figura 13f) classificou a totalidade da imagem como classe neutra. Esse fato evidenciou a limitação da referida técnica.

A técnica diferença percentual padronizada (Figura 13h) apresentou apenas 75,8% da área classificada como mudança, apresentando falsos positivos, além de não delimitar corretamente o alvo em análise.

Nas técnicas diferença simples normalizada e diferença percentual normalizada, Figura 13 (13d; 13g), respectivamente, apresentaram novamente detecção de mudança idêntica (94,5%), porém a primeira teve como diferencial uma maior discretização nas áreas de mudança real do que a segunda. Estes dois resultados apresentaram o mesmo comportamento na região das bordas e nas áreas circunvizinhas.

A técnica diferença simples padronizada (Figura 13e) apresentou área de mudança efetiva correspondente a 89,8%, além de ser generalista quanto à discriminação de áreas de mudança nas bordas da região de interesse e nas regiões circunvizinhas.

Com isto, para a região alagada foi eleita como melhor técnica de detecção de mudanças a diferença simples normalizada (Figura 13d), pela apresentação visual devido às distintas tonalidades representando os diferentes níveis de discretizações.

A seguir é apresentada a análise dos valores de níveis de cinza, através do perfil espacial do transecto (A-B) (Figura 14a), representado por um conjunto de segmentos. Nesta análise, verificou-se apenas uma incipiente variação dos níveis de cinza na região central do alvo, conforme Figura 14b. Assim, observa-se que os elementos da matriz descrevem um comportamento similar e de baixa amplitude de variação dos valores que representam os pixels mais escuros (região alagada).

Em termos do número de *pixels* amostrados, os níveis de cinza (38 a 58) representados pelo seu respectivo perfil espacial apresentaram pequena variação, comportamento considerado quase homogêneo, ou seja, uma diferença de apenas 20 níveis, que foram tratados como mudança pelo *software* ENVI.

Esse comportamento adaptou-se melhor à técnica de detecção de mudanças diferença simples normalizada (Figura 13d), em detrimento aos demais resultados avaliados, por esta conseguir discretizar variações de mudanças decorrentes de uma pequena variação de níveis de cinza, referente à diferenciação no desenvolvimento da vegetação alagada (Figura 13), intimamente relacionado com a cobertura real do alvo no ano de 2009 (data de aquisição da imagem).

Logo, a conjunção de valores de níveis de cinza “mais baixos”, aliado à baixa amplitude de variação em relação aos demais tipos de alvo, neste caso, adaptou-se melhor a esta referida técnica.

5.1.4 Embarcações

Devido às particularidades ocorridas em região alagada, os estudos passaram para o contexto de detecção de mudanças de embarcações. Assim sendo, a região analisada está sediada próxima a um píer, representando uma embarcação com formato retangular, localizada no Parque Pontal, região do “Pontão” do lago sul (latitude 15° 49' 30" Sul e longitude 47° 52' 18" Oeste).

Abaixo, na Figura 15, é possível observar um registro fotográfico do local onde a embarcação estava atracada (seta).

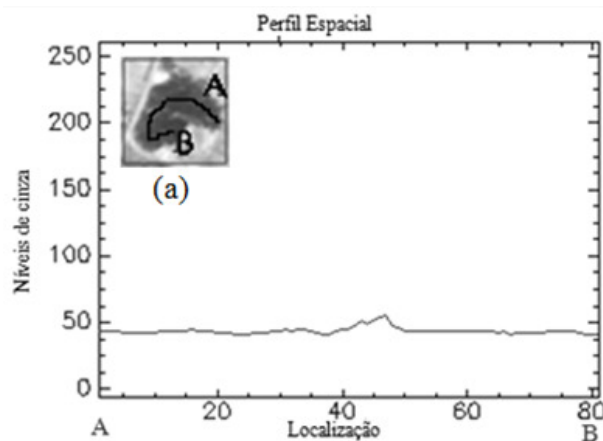


Fig. 14 - Representação do perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza.

A Figura 16 (16a; 16b) mostra o alvo considerado nessa análise, nas imagens HRC de 2008 e 2009, respectivamente.

Assim sendo, os resultados referentes às 6 (seis) técnicas de detecção de mudanças para o alvo considerado como embarcação, podem ser vistas na Figura 17.

Para o alvo em análise, levando em consideração a sua região de interesse (área total de mudança efetiva de 27.978,13 m²), o resultado das técnicas de detecção de mudança é mostrado nas Tabelas 7 e 8 (diferença simples e diferença percentual, respectivamente).

As técnicas diferença simples, diferença simples normalizada, diferença percentual normalizada (Figura 17c; 17d; 17g), respectivamente, apresentam muitos falsos positivos nas bordas e nas regiões circunvizinhas, entretanto estes delimitam corretamente a região de interesse e apresentam valores elevados de áreas de mudança classificadas corretamente.

Dentre estas, constatou-se que a diferença simples (Figura 17c) possui um total de 100% de área de mudança efetiva, bem como muitos erros de comissão, comportamento bem característico desse tipo de técnica empregada, tendo sido descartada.

A diferença percentual (Figura 17f) apresentou detecção de mudança em 97,3% da área analisada. Embora esta técnica tenha classificado quase que a área de mudança efetiva corretamente, a mesma gerou poucos falsos positivos, principalmente nas bordas da imagem, além de ter considerado algumas regiões como classe neutra (2,7%).

Apesar desta técnica ter demonstrado algumas limitações, para efeito desta análise, esse resultado se mostrou satisfatório. Um comportamento similar foi obtido pela diferença simples padronizada (Figura 17e), porém esta classificou erroneamente uma maior quantidade de pixels nas regiões de bordas e circunvizinhas, apesar de ter classificado um maior número de discretizações para a área efetiva de mudança.

Embora as duas classificações tenham produzidos resultados considerados satisfatórios, a diferença percentual (Figura 17f) apresentou resultados condizentes com este tipo de alvo analisado, tendo sido considerada a melhor técnica de mudança. Dessa forma, esta técnica demonstrou



Fig. 15 - Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011.

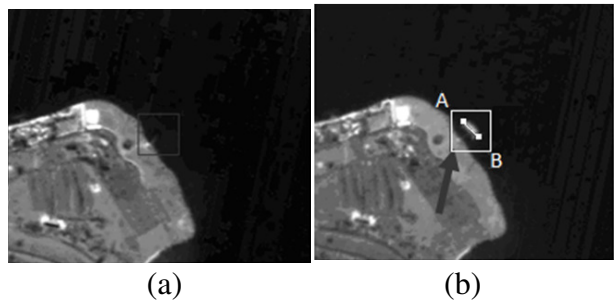


Fig. 16 - Imagens HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b), respectivamente. A seta representa a posição e o sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo para a análise posterior das técnicas de detecção de mudanças. O segmento A-B representa o estudo dos valores de níveis de cinza.

assertividade quanto à região de mudança efetiva, além de delimitar o mais próximo do real o alvo analisado quanto a sua forma.

Apesar da técnica diferença percentual ter sido considerada como melhor resultado (Figura 17f), as variações de níveis de cinza para o perfil espacial gerado sobre o alvo indicaram que a técnica de diferença simples padronizada (Figura 17e) se mostrou mais sensível em relação ao comportamento do alvo em questão (Figura 18).(b)

Em contraposição, a técnica de diferença percentual (Figura 17f) é mais sensível aos valores considerados mais baixos de níveis de cinza (valores em torno de 45), embora tenha sido mais generalista com relação a sua variação (valores entre 45-60).

Esse comportamento evidencia uma tendência de crescimento dos valores de níveis de cinza das “bordas” para o centro do alvo e demonstra uma classificação das áreas de mudança mais próxima do formato correto do alvo para a referida técnica.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Tabela 7: Análise das áreas mensuradas para diferença simples

	Diferença Simples	Diferença Simples Normalizada	Diferença Simples Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	100	100	98,2
Neutra	0	0	0
Não Mudança	0	0	1,8

O desenvolvimento metodológico estabelecido para esta análise proporcionou uma avaliação pontual mais assertiva, tanto para o processamento de cada uma das 6 (seis) imagens resultados, quanto para o número de classes escolhido pelo operador, possibilitando a identificação mais precisa das áreas que ocorreram alterações.

A utilização do *software* ENVI não se limitou a apenas uma técnica, como as que são empregadas

Tabela 8: Análise das áreas mensuradas para diferença percentual

	Diferença Percentual	Diferença Percentual Normalizada	Diferença Percentual Padronizada
Classes	%	%	%
Mudança	97,3	100	2
Neutra	2,7	0	0
Não Mudança	0	0	98

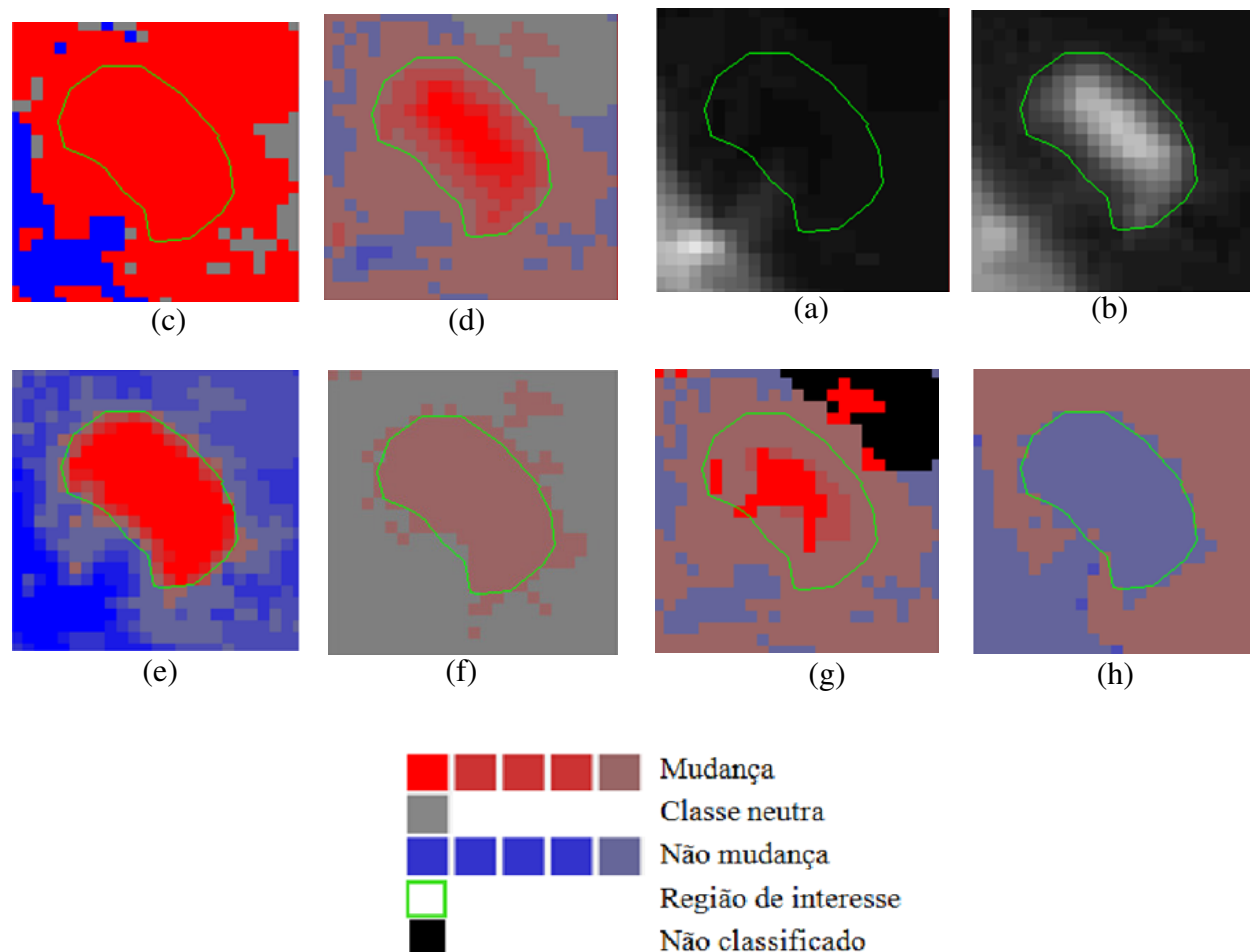


Fig. 17 - Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Na sequência, seguem as técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (h), utilizando 11 classes de detecção de mudanças. A região de interesse (ROI), na cor verde, é sobreposta em todas as imagens.

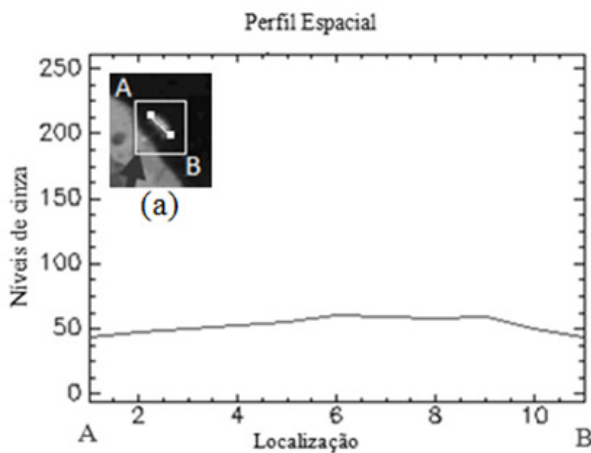


Fig. 18 - Representação do perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza.

em métodos de detecção de mudanças usuais, lançando mão da matemática de bandas frequentemente empregada. Ao invés disso, foram considerados vários processos, simultaneamente, permitindo uma maior veracidade na análise. Assim sendo, o estudo foi capaz de avaliar e testar variadas técnicas dentro de contextos multitemporais, proporcionando a melhor forma de identificar as expansões, alterações e diferenças nos casos comentados.

Sabendo que os pixels claros e escuros, representando informações de nuvens e sombras, respectivamente, encobrem certas regiões, faz-se necessária a interpretação visual do processamento resultante, visto que as sombras, bem como as nuvens causadas por estas, são consideradas prejudiciais na avaliação dos produtos finais de detecção de mudanças.

Dessa forma, dentre todas as técnicas de detecção de mudanças analisadas, a diferença simples padronizada mostrou melhor resultado para região de construção e solo exposto; a diferença simples normalizada para região alagada; e a diferença percentual para alvos considerados como embarcações, sendo que a análise do transecto desta última aponta para a técnica de diferença simples padronizada, também como técnica de resultado promissor.

Em adição, essas técnicas apresentaram o melhor efeito visual de tonalidades fortes (vermelho e azul) e delimitaram satisfatoriamente a região das bordas. Portanto, é visto que a interpretação visual interativa de uma região complementa as informações frente ao processamento automático,

pois o intérprete pode fazer uso da experiência e do conhecimento frente à área a ser analisada.

6.2 Recomendações

Recomenda-se utilizar imagens com ângulo de incidência solar e de orientação do sensor mais próximos possível, pois mesmo correlacionando as cenas multitemporais, as distorções causadas não podem ser totalmente corrigidas, bem como prejudicam a detecção de mudanças.

Por fim, o fatiamento das distintas classes de mudança, atrelada às distintas técnicas de detecção, podem fornecer melhores resultados, pois uma simples depuração pode delimitar o alvo em formato mais próximo do real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESSA, J. C. M.; Detecção de mudanças em solo urbano com a utilização de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011. **Anais**. p. 6626, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0165.pdf>>. Acesso: 06 outubro 2011.

CANTY, M. J. **Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, With Algorithms For ENVI/IDL**. Taylor & Francis, 2007. 348p.

CELIK, T. Change detection in satellite images using a genetic algorithm approach. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 7, n. 2, p. 386 – 390, 2010.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Ciência e Tecnologia**. INPE. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso: 08 setembro 2011.

DAI, X.; KHORRAM, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 5, p. 1566 – 1577, 1998.

ENVIRONMENT FOR VISUALIZING IMAGES (ENVI). **Guia do ENVI em português**. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>>. Acesso: 06 outubro 2011.

GAMBA, P.; DELL'ACQUA, F.; LISINI, G. Change detection of multitemporal SAR data in urban areas combining feature-based and pixel-based techniques. **IEEE Transactions on**

Geoscience and Remote Sensing, v. 44, n. 10, p. 2820 – 2827, 2006.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (GDF). **Portal do Distrito Federal**. Disponível em: <<http://www.gdf.df.gov.br/045/04501018.asp>>. Acesso: 03 outubro 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de Geração de Imagens (INPE-DGI)**. Sensor HRC/CBERS-2B - 05 jun 2008 e 21 ago 2009 (Pancromática / Base 157B / Ponto: 118_1). Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acesso: 21 setembro 2011.

JASANI, B.; PESARESI, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; ZEUG, G. **Remote Sensing from Space**. Springer. 2009. 297p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos, Parêntese, 2009. 598p.

JONG, S. M. D.; MEER, F. D.V. D. **Remote sensing image analysis: Including the spatial domain**. Springer. 2006. 359p.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W; CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**, John Wiley & Sons, 2007. 756p.
MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa, UFV, 2011. 422p.

SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989 – 1003, 1989.

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; MACOMBER, S. A. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects?, **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244, 2001.

TSO, B.; MATHER, P. M. **Classification Methods for Remotely Sensed Data**. Taylor & Francis, 2009. 347p.