

# Análise de técnicas de detecção de mudanças utilizando imagens multitemporais HRC/CBERS-2B

Tiago Josué Diedrich e Igor da Silva Narvaes

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Avenida Roraima, 1000. Campus da UFSM, Santa Maria – RS. Cep: 97105-970

**Resumo** — Esse trabalho aborda uma metodologia para análise sistemática de alvos, através dos resultados de detecção de mudanças, gerados a partir do *software Environment for Visualizing Images (ENVI)*, por meio da ferramenta *change detection*, utilizando imagens orbitais extraídas de cenas HRC/CBERS-2B, da cidade de Brasília, pois as atividades multitemporais de planejamento urbano do local causaram mudanças na paisagem, fato que se assemelha à evolução de um cenário de guerra. O trabalho tem como objetivo detectar com eficiência, de forma automática, alterações temporais em terrenos. Como resultado, o processamento “diferença simples padronizada” mostrou comportamento satisfatório, bem como percentuais elevados de detecção de área corretamente avaliada, delimitando o alvo como forma mais aproximada do real. A automação proporcionada pelo aplicativo mostrou ser uma alternativa de custo acessível e de fácil aplicação, capaz de indicar rapidamente o local em que ocorreu a alteração, bem como mensurar a área em questão.

**Palavras-Chave** — Sistemas satelitais, detecção de mudança, *software*.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização da técnica de sensoriamento remoto é uma importante fonte de conhecimentos para monitorar a superfície terrestre. As cenas, obtidas por sensores a bordo de distintas plataformas (balões, aviões e satélites), registram informações e desempenham um papel significativo na capacidade de analisar uma área específica. [10]

Assim sendo, Novo [12] comenta que a época dos períodos belicosos incitaram vários militares a desenvolver trabalhos e pesquisas, relacionadas à identificação de mudanças, em determinadas regiões, ao longo dos tempos. Após identificá-las, alguns técnicos em interpretação de imagens retratavam, através de reportes e desenhos, as alterações e atividades que evoluíam no cenário de guerra.

Com o passar dos tempos, as observações evoluíram para os registros fotográficos realizados sobre o campo de batalha. Nesses, o enfoque visava identificar a posição de construções retratadas como possíveis alvos, tais como: instalações industriais, usinas de força e centros de comando. [11]

Contudo, mesmo com uma imensidão de registros, efetuados sobre o território inimigo, os métodos de identificar modificações no terreno ainda mostravam-se ultrapassados, além de provocarem demasiada carga de trabalho para os técnicos em interpretação de imagens. Esses profissionais, imbuídos em suas tarefas, apenas analisavam as imagens através de visualizadores, armazenados com cenas multitemporais, relacionando ambas as imagens com um cursor vinculado. Era visto assim, que esse processo gerava erros de comissão e omissão, por se tratar de método muito subjetivo. [12]

Assim sendo, observa-se que determinadas técnicas de detecção de mudanças podem acarretar 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, permitindo uma maior integridade das informações, para proporcionar resultados de processamentos mais condizentes. [8]

Logo, por meio desses conceitos surge à necessidade de se estudar melhor distintas técnicas de detecção de mudanças e, assim, avaliar qual delas gera melhor resultado para áreas que englobam o interesse do interprete.

### *Estudos já realizados*

Para o entendimento do tema proposto, é necessário introduzir alguns conceitos de estudos já realizados, referentes ao sensoriamento remoto e às distintas técnicas de detecção, como insumo, a ser descrito a seguir:

a) O estudo de Carvalho e Silva [4] teve como objetivo desenvolver um programa para detectar e esquematizar alterações multitemporais em paisagens, de maneira automática, em várias escalas, usando uma formulação de classificadores espectrais. O procedimento calculou, para cada *pixel*, a *Spectral Angle Mapper (SAM)*, a *Spectral Correlation Mapper (SCM)* e a Distância Euclidiana, onde os classificadores compararam o espectro da imagem original com um espectro de referência (bibliotecas espectrais), através de formulação matemática. Desta maneira, a identificação das mudanças foi feita segundo o ajuste obtido entre duas curvas espectrais, ou seja, um critério de similaridade.

b) Outro trabalho, realizado por Bittencourt e Haertel [2], aborda um novo método de detectar alterações multitemporais, através de imagens fração, utilizando o Modelo Linear de Mistura Espectral, baseado no conceito de *pixel* de mistura, permitindo detectar mudanças em nível de *sub-pixel*.

c) No estudo de Bessa [1], observa-se a utilização do *software Imagine Delta Cue* que, assim como o ENVI (*software* que possui ferramentas/algoritmos para a detecção de mudanças), é empregado para detectar, automaticamente, as diversas mudanças existentes entre imagens de períodos subsequentes.

d) Em outro contexto, Canty [3] demonstra profundas análises frente às distintas técnicas de detecção de mudanças, utilizando algoritmos, através do recurso IDL presente no *software ENVI*, por meio de formulações matemáticas de álgebra vetorial. Além disso, o autor ainda fornece subsídios e incita cada leitor a desenvolver sua própria técnica.

Através desses estudos, observa-se que atualmente existem muitos métodos de detecção de mudança, dependendo do alvo, do propósito final e do tipo de alteração que se quer detectar.

Porém, 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. [9]

Portanto, o objetivo deste artigo é demonstrar algumas análises frente às diferentes técnicas de detecção de mudanças desenvolvidas na ferramenta *change detection* do software ENVI, propondo uma metodologia de avaliação, através do processamento de diferença simples e de diferença percentual, vinculados à normalização e à padronização da imagem resultante, as quais apontam as mudanças temporais ocorridas no Plano Piloto, identificando o aparecimento de algumas construções, no intuito de discriminar com eficiência as regiões que sofreram alterações, bem como mensurar a área modificada.

## II. AREA DE ESTUDO E MATERIAIS

### Área de estudo

A área de estudo está localizada a leste do estado de Goiás e abrange o plano urbanístico da cidade de Brasília – DF, totalizando em torno de 10,2 mil hectares de extensão territorial para análise (Fig. 1).

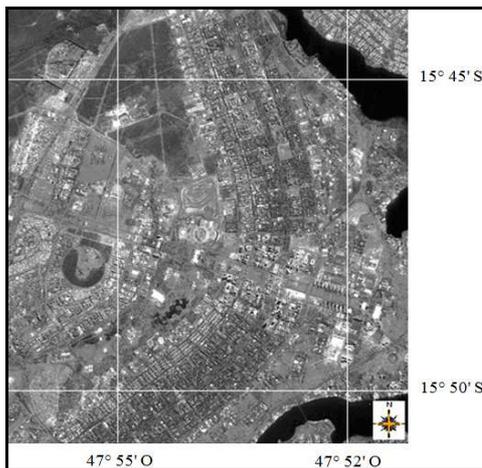


Fig. 1. Imagem pancromática do sensor HRC/CBERS-2B representando o Plano Piloto de Brasília-DF. [7]

### Materiais

Segundo Polizel [13], para determinar alvos pontuais e formas geométricas conhecidas, as imagens pancromáticas possuem como vantagem uma excelente resolução espacial, se comparada às cenas multiespectrais.

Assim sendo, considerando o presente estudo, foram utilizadas imagens do sensor *High Resolution Camera* (HRC) - Câmera Pancromática de Alta Resolução - do satélite CBERS-2B (Tabela I).

TABELA I DADOS DAS IMAGENS ORBITAIS DO SENSOR HRC/CBERS-2B [5]

Data	Órbita Ponto	Banda Espectral
05/06/2008	157_B/118_1	Pancromática
21/08/2009	157_B/118_1	Pancromática

As cenas citadas acima podem ser observadas na Fig. 2.

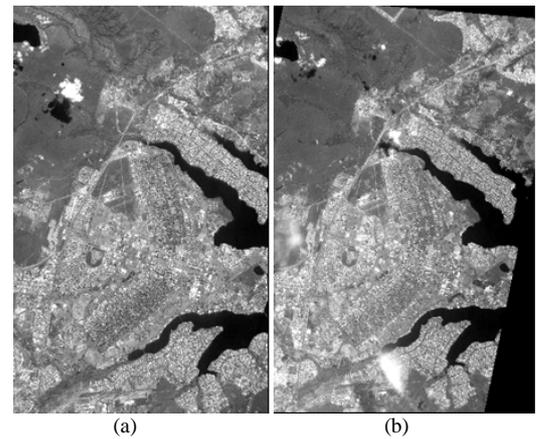


Fig. 2. Recorte da Imagem Pancromática do sensor HRC/CBERS - 2B do ano de 2008 (a) e de 2009 (b). [7]

### Características do sensor

TABELA II CARACTERÍSTICAS DO SENSOR HRC, SATÉLITE CBERS-2B [5]

Sensor	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
HRC	0,50 µm a 0,80 µm	2,7 m X 2,7 m	130 dias (Faixa Imageada)	8 bits

## III. METODOLOGIA

Com vistas a atender ao objetivo proposto, foi desenvolvido o procedimento metodológico, conforme pode ser visto na Fig. 3.

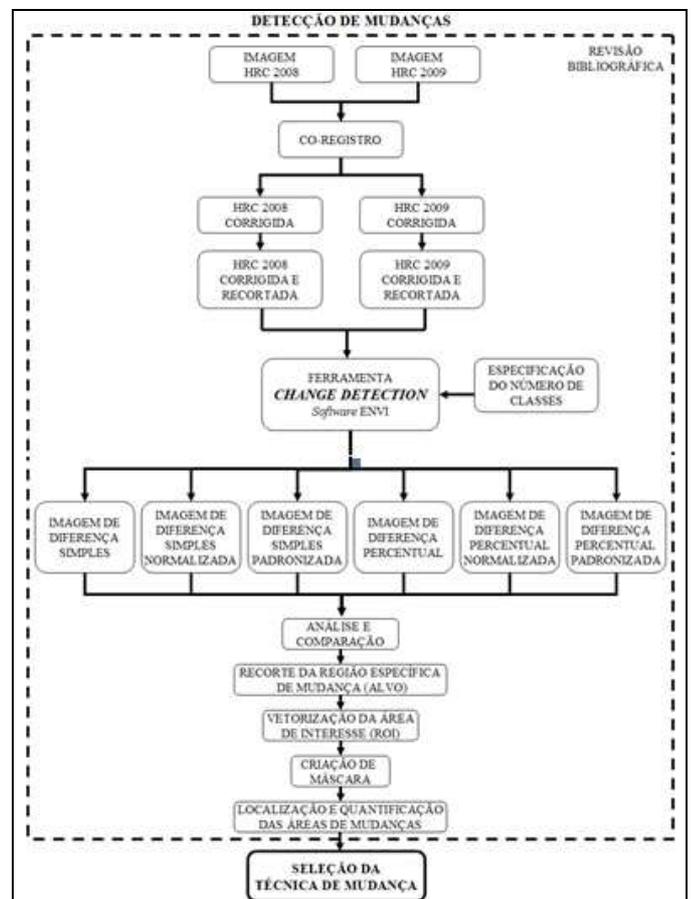


Fig. 3. Fluxograma para aplicação do Método.

Como forma de mensurar e identificar as áreas de mudança, são abordados os seguintes procedimentos, como segue:

### Corregistro

Primeiramente foi realizado o corregistro da imagem pancromática de 2008 (base), com a cena de 2009, assegurando, assim, a sobreposição das regiões representantes.

Para isso foram coletados ao todo 18 pontos de controle, distribuídos uniformemente sobre o setor de interesse. As imagens foram somente corregistradas. Assim sendo, não houve necessidade de georreferenciamento (registro), por não se tratar do objetivo do trabalho.

A escolha da técnica de corregistro das cenas consistiu no método polinomial de primeiro grau, com reamostragem pelo vizinho mais próximo, não alterando os valores radiométricos da imagem original.

### Seleção de área

Já com as imagens de 2008 e 2009 corregistradas, ambas as cenas foram recortadas, proporcionando uma avaliação sobre mesma área de processamento, adequando o processo de julgamento e análise, por produzir imagens de mesma dimensão.

### Ferramenta Change Detection

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

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) resultados foram definidos como 6 (seis) distintas técnicas de detecção de mudança, descritas por ENVI e definidas a seguir [6]:

### Simple Difference (SD) – Diferença Simples

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

$$SD = [DN(f) - DN(i)] \quad (1)$$

onde:

DN(f) = valores digitais (matriciais) do estado final; e

DN(i) = valores digitais (matriciais) do estado inicial.

### Percent Difference (PD) – Diferença Percentual

Matemática de bandas que executa a diferença simples (1) dividida pela banda da matriz do estado inicial (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.

$$PD = \frac{DN(f) - DN(i)}{DN(i)} \quad (2)$$

onde:

DN(f) = valores digitais (matriciais) do estado final; e

DN(i) = valores digitais (matriciais) do estado inicial.

### Normalize Data Range (NDR) – 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 (3). Essa operação constitui um método de refinamento da diferença simples e da diferença percentual, gerando duas novas imagens.

$$NDR = \frac{DN - DN_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} \quad (3)$$

onde:

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

DN<sub>min</sub> = menor valor numérico da matriz; e

DN<sub>max</sub> = maior valor numérico da matriz.

### Standardize to Unit Variance (SUV) – Padronização para Unidades de Variância

Processamento que 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 (4). Essa operação também é um método de refinamento da diferença simples e da diferença percentual, a qual gera outras duas imagens.

$$SUV = \frac{DN - DN_{médio}}{\sigma^2} \quad (4)$$

onde:

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

DN<sub>médio</sub> = médio valor numérico da matriz; e

$\sigma^2$  = variância.

### Número de classes

Sabendo que o número de classes depende de quantos níveis de discretização (magnitude ou tonalidade) o usuário pretende impor na análise de mudanças, foram utilizadas para esse trabalho um total de 11 classes (padrão pré-definido pelo ENVI) [6], divididas como segue:

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

Vale ressaltar que, para a definição do número de classes, não houve necessidade de segmentação, devido ao processo automático de classificação, referente ao *software* ENVI.

### Análise e comparação das técnicas

Para a escolha da melhor técnica de detecção de mudanças, foram avaliadas as seis (6) diferentes imagens processadas pela ferramenta *change detection* do ENVI.

### Área de mudança

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.

Para isso 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, 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, bem como obteve resultados de sua mensuração mais próximo possível dos valores reais da área afetada. As demais “imagens resultado” foram descartadas.

### Registros fotográficos

Com o intuito de validar melhor os resultados, foi realizada visita a campo em outubro de 2011, onde foram efetuados registros fotográficos *in loco* das cenas HRC estudadas, como forma de definir uma base para o procedimento de avaliação pontual (quanto à forma e a composição dos alvos), bem como apresentar a veracidade das informações processadas e a área alterada.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Erros de correção

Os dezoito (18) pontos de controle, distribuídos uniformemente sobre o setor de importância, apresentaram

um erro médio quadrático (EMQ) de 0,998, ou seja, inferior a 1 *pixel*, considerado ideal para essa análise (Fig. 4).

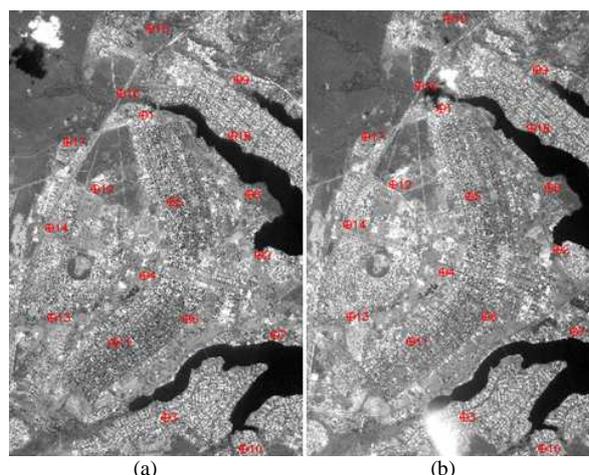


Fig. 4. Correção das imagens pancromáticas de 2008 (a) e 2009 (b).

Após isso, as imagens foram recortadas e salvas no formato ENVI *Standard*, gerando um arquivo imagem e um arquivo texto, com resolução espacial de 2,5 m, na projeção UTM e Zona 23 Sul.

A informação de projeção, *datum* e dimensão de pixel serviram apenas para gerar o “*Map Info*” do ENVI, dado requerido pelo *software* durante a leitura da imagem.

### Estudos de casos específicos

Foram realizadas duas análises pontuais no Plano Piloto de Brasília - DF, identificando algumas construções, erguidas entre os anos de 2008 e 2009, simulando, hipoteticamente, instalações militares de campanha, construídas dentro de um cenário de guerra.

Logo, o “Caso A” abrange uma instalação temporária, de material plástico - galpão artificial - localizado da Universidade de Brasília (UNB), mais especificamente no Centro de Seleção e Promoção de Eventos (CESPE), Campus Universitário, Brasília - DF (latitude 15° 46' 19" Sul e longitude 047° 51' 53" Oeste). Abaixo é possível observar um registro fotográfico (Fig. 5) do referido alvo.



Fig. 5. Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011. Caso A.

A mudança ocorrida entre as duas imagens pancromáticas (Fig. 6), do alvo descrito como construção, é observada entre as duas cenas HRC datadas de 2008 (Fig. 6a) e 2009 (Fig. 6b). A seguir é identificado o sentido e a posição do registro fotográfico (Fig. 5), indicado pela seta (Fig. 6b).

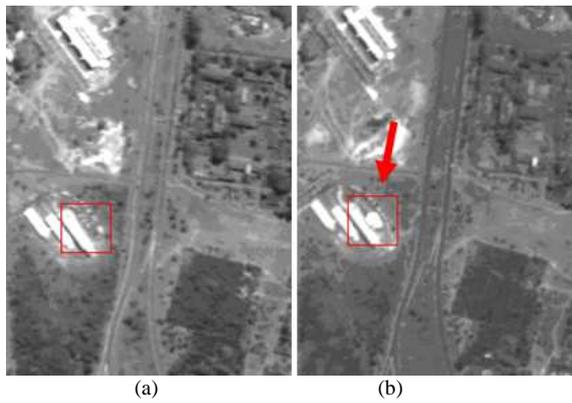


Fig. 6. Imagens HRC dos anos 2008 (a) e 2009 (b). A seta representa a posição/sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo. Caso A.

O resultado das diferentes técnicas (Fig. 7) em análise para delimitação e o cálculo da área efetiva de mudança é apresentado a seguir.

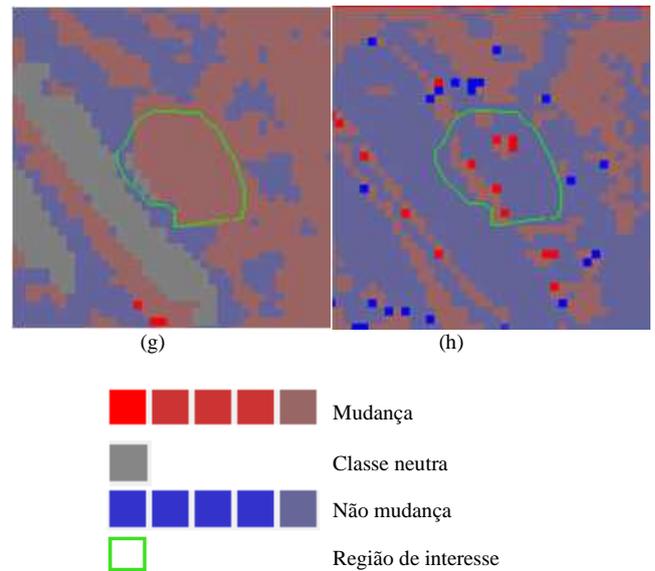
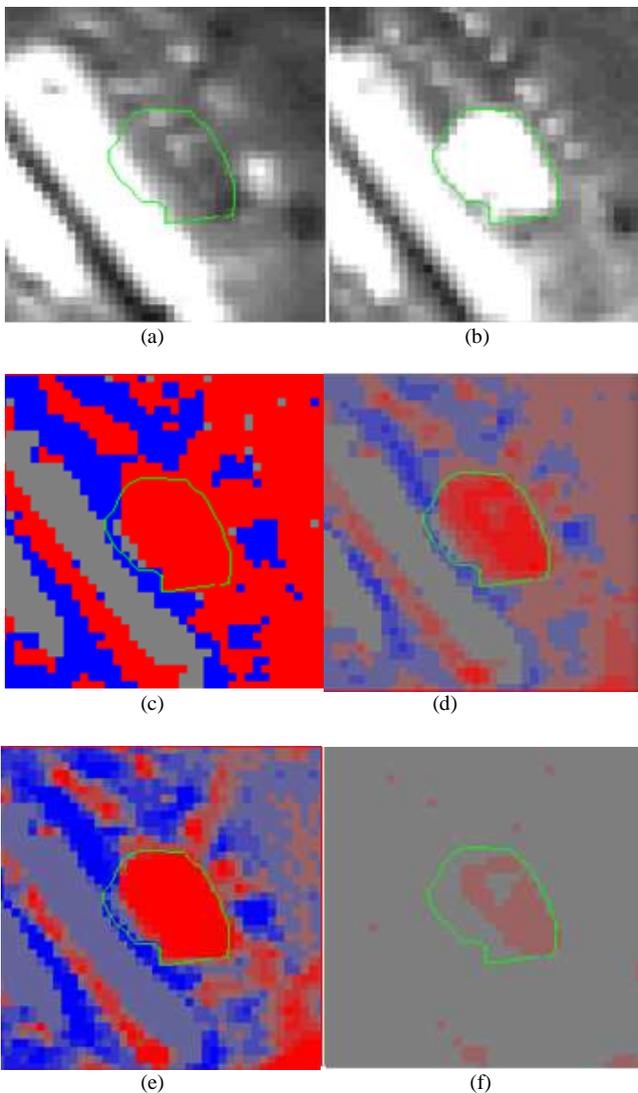


Fig. 7. Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (h). A máscara que representa a região de interesse (ROI) é sobreposta em todas as imagens. Caso A.

De acordo com a região de interesse, a qual representa a área que ocorreu a mudança (área total de 1.745,50 m<sup>2</sup>) nesta análise, o resultado das diferentes técnicas de detecção de mudanças são mostrados nas Tabelas III e IV (diferença simples e diferença percentual, respectivamente).

TABELA III ANÁLISE DAS ÁREAS MENSURADAS PARA DIFERENÇA SIMPLES (CASO A)

	Diferença Simples (%)	Diferença Simples Normalizada (%)	Diferença Simples Padronizada (%)
Mudança	92,6	92,6	92,6
Neutra	5,0	5,0	0,0
Não Mudança	2,4	2,4	7,4

TABELA IV ANÁLISE DAS ÁREAS MENSURADAS PARA DIFERENÇA PERCENTUAL (CASO A)

	Diferença Percentual (%)	Diferença Percentual Normalizada (%)	Diferença Percentual Padronizada (%)
Mudança	53,3	92,6	22,1
Neutra	46,7	5,0	0,0
Não Mudança	0,0	2,4	77,9

Neste caso, os resultados de detecção de mudanças classificaram os dois pavilhões (Fig. 7a e 7b) à esquerda da área real de mudança (região de interesse) como classe neutra (cinza), exceto na técnica de diferença simples padronizada (Fig. 7e) e diferença percentual padronizada (Fig. 7h).

Já o quadrante superior direito foi classificado como área efetiva de mudança, apesar das análises nas imagens multitemporais terem comprovado a inexistência de modificações significativas nestas regiões. Entretanto, neste caso, a pequena variação de níveis de cinza, decorrentes da diferença de estágio de crescimento da vegetação entre 2008 e 2009, ocasionou tal comportamento para a maioria das técnicas de detecção.

(continua...)

A técnica diferença simples (Fig. 7c) revelou uma detecção de mudança de 92,6%, uma não mudança de 2,4% e uma classificação neutra de 5% de área. Embora seja o resultado com maior porcentagem de área mudada (92,6%), por apresentar vários “falsos positivos” nas circunvizinhanças, principalmente no setor nordeste, não atendeu satisfatoriamente às necessidades do trabalho.

As imagens diferença simples (Fig. 7c), diferença simples normalizada (Fig. 7d) e diferença percentual normalizada (Fig. 7g), apresentaram valores estatísticos idênticos, conforme Tabelas III e IV. A primeira, por tratar de matemática de banda simples (1), e as duas últimas, por possuírem mesmo padrão de pós-processamento matemático elucidada na metodologia (3). Com isso, fica evidente a apresentação numérica de cada *pixel* da matriz, onde a diferença simples normalizada representa escala linear e a diferença percentual normalizada representa 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 (Fig. 7d) obteve uma maior distinção entre os níveis de mudança (tom mais forte em vermelho), identificando melhor a instalação construída.

A diferença percentual (Fig. 7f) teve um alto índice na classe neutra (cinza), totalizando em 46,7% de área. Entretanto, o que foi classificado em vermelho está intimamente correlacionado com as verdades terrestres, porém a imagem foi descartada por classificar grande parte do setor circunvizinho à área mudada como neutro.

A diferença percentual padronizada (Fig. 7h) foi descartada, por ter apresentado apenas 22,1% como área de mudança real e 77,9% classificado erroneamente como não mudança, além de não ter delimitado a área de mudança quanto a sua forma.

Já a diferença simples padronizada (Fig. 7e) foi o resultado que melhor satisfaz as expectativas, pois apresentou 92,6% de área efetiva considerada como mudança, detectada assertivamente, bem como delimitou visualmente o espaço de área alterado. Além de ter apresentado os melhores índices, a mesma delimitou esse alvo específico com a forma mais aproximada do real, tendo apenas 7,4% da área considerada como não mudança. Nesta técnica foi possível observar também o efeito visual de tonalidades fortes (vermelho e azul) delimitando bem as bordas onde ocorreu a mudança e não mudança, respectivamente.

Assim sendo, devido às variações de níveis de cinza em pontos específicos, e ao referido “efeito de borda”, uma nova avaliação 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 para detecção visual.

A análise da variação dos níveis de cinza (histograma), através de um transecto (A-B) sobre a região de mudança entre as imagens multitemporais (Fig. 8a) demonstrou uma variação de níveis de cinza entre 75 e 162, ou seja, uma diferença de 87 níveis de cinza, (Fig.8b).

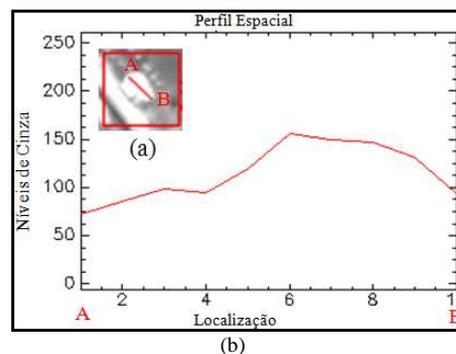


Fig. 8. Trecho de imagem HRC 2009 (a) e o gráfico (b) que representa o perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza, entre o transecto A-B. Caso A.

Além disso, há uma tendência de crescimento dos valores de níveis de cinza das “bordas” para o centro do alvo. Este comportamento demonstrou efetivamente que a melhor técnica de detecção escolhida para o referido alvo (diferença simples padronizada - Fig. 7e), se mostrou coerente, por classificar com assertividade quase que a totalidade da variação de níveis de cinza como áreas de mudança.

A seguir, os estudos passaram para o Caso B, que retrata uma edificação com telhado plano, retangular, na cor branca, sustentado por uma estrutura treliçada metálica, ao lado do Ginásio Nilson Nelson (construção circular vista ao fundo da mesma Figura). O alvo, considerado como mudança, é denominado de Centro Aquático Ginásio Cláudio Coutinho, e está localizado a oeste do Estádio Mané Garrincha, Brasília - DF, com coordenada geográfica 15° 46' 59" de latitude sul e 047° 54' 07" de longitude oeste. Abaixo é possível observar o registro fotográfico da estrutura (Fig. 9).



Fig. 9. Registro fotográfico da área de estudo datado de outubro de 2011. Caso B.

A seguir é apresentada a localização espacial do alvo identificado por um quadrado, considerado nesta análise nas imagens HRC de 2008 (Fig. 10a) e 2009 (Fig. 10b).

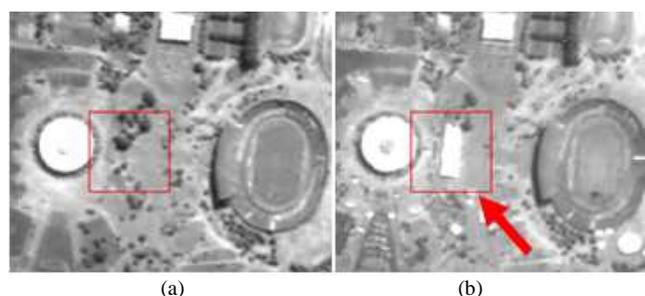


Fig. 9. Imagens HRC dos anos 2008 (a) e 2009 (b). A seta representa a posição/sentido do registro fotográfico. O quadrado delimita a área de estudo. Caso B.

Assim sendo, para análise desse alvo, foram geradas as seis (6) técnicas subsequentes (Fig. 11).

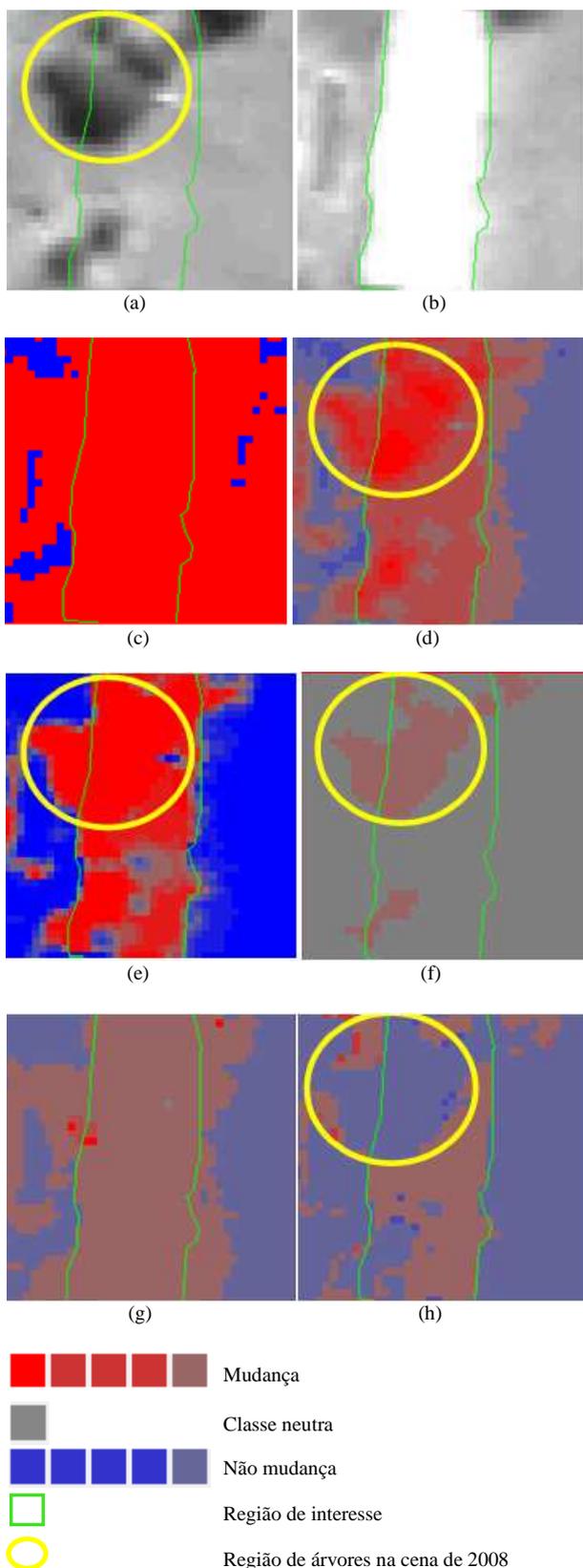


Fig. 11. Imagens pancromáticas do sensor HRC dos anos de 2008 (a) e 2009 (b). Técnicas de detecção de mudanças: diferença simples (c), diferença simples normalizada (d), diferença simples padronizada (e), diferença percentual (f), diferença percentual normalizada (g) e diferença percentual padronizada (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. Caso B.

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

TABELA V ANÁLISE DAS ÁREAS MENSURADAS PARA DIFERENÇA SIMPLES (CASO B)

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

TABELA VI ANÁLISE DAS ÁREAS MENSURADAS PARA DIFERENÇA PERCENTUAL (CASO B)

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

Dentre as técnicas observadas, os resultados diferença simples (Fig. 11c) e diferença percentual (Fig. 11f) não fornecem informações confiáveis das áreas onde efetivamente ocorreram mudanças, o primeiro por comissão (erros de inclusão) e o segundo por omissão (classificados como classe neutra).

Constata-se que na diferença simples (Fig. 11c) 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 (muitos “falsos positivos”), tendo sido eleita como um resultado não satisfatório.

Já nas técnicas diferença simples normalizada (Fig. 11d) e diferença percentual normalizada (Fig. 11g), a detecção de mudança foi idêntica: 99%. A não detecção foi de 0,9% e a área classificada como neutra totalizou 0,1% da área alterada. Pelas mesmas razões anteriormente elucidadas no Caso A, estas duas também apresentaram resultados numéricos idênticos, embora as imagens resultantes apresentassem propriedades visuais distintas. Nessas imagens também são observados “falsos positivos” nas regiões de bordas, bem como em suas vizinhanças no setor oeste, demonstrando menos eficácia quanto à detecção de mudanças. Todavia, apesar de identificarem quase 100% da área da construção, esses dois resultados obtiveram muitos “falsos positivos”, se comparados com a diferença simples padronizada (Fig. 11e).

Esse último (Fig. 11e) apresentou-se mais eficaz na delimitação do alvo efetivo de mudança, principalmente com relação à correta classificação das regiões de borda. Em contrapartida, a diferença simples normalizada (Fig. 11d) apresenta uma informação importante, ao classificar a região de árvores (região circular) como uma mudança visual mais intensa que as demais circunvizinhas.

A diferença percentual (Fig. 11f) identificou corretamente (dentro da região de interesse) apenas 26,8% da área efetiva de mudança, além de ter classificado 73,2% desta, como classe neutra. Esse resultado mostrou a ineficácia da técnica, tendo sido descartada.

A técnica diferença percentual padronizada (Fig. 11h) evidenciou mudança em 53,6% de área, ou seja, praticamente metade da área real não confirmou mudança, demonstrando novamente resultados não satisfatórios.

Assim sendo, constatou-se novamente como técnica mais assertiva a diferença simples padronizada (Fig. 11e), com 94,5% de área de mudança corretamente detectada, além de ter obtido uma melhor resposta do efeito de bordas em relação às demais imagens resultantes.

A seguir, é apresentada a análise dos valores de níveis de cinza, através de histograma (Fig. 12b), do perfil espacial de um transecto (A-B), inserido sobre a região de mudança (Fig. 12a), podendo ser verificado a variação dos seus respectivos níveis de cinza.

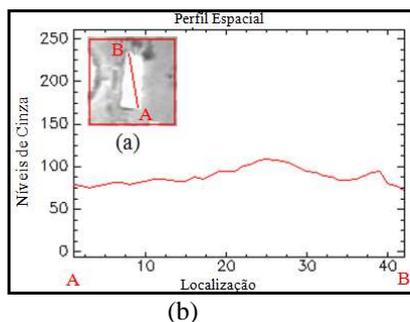


Fig. 12. Trecho de imagem HRC 2009 (a) e o gráfico (b) que representa o perfil espacial em relação aos valores de níveis de cinza, entre o transecto (A-B). Caso B.

Esta mesma técnica demonstrou estar mais adapta a este comportamento de níveis de cinza, identificada por variações em torno de 75 a 110 (Fig. 12), tendo sido tratados como mudança pelo aplicativo computacional para este caso específico.

## V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### Conclusões

O estudo sistematizado, seguindo a metodologia proposta, viabilizou uma avaliação assertiva para o processamento de cada uma das 6 (seis) imagens resultados, possibilitando a identificação mais precisa das áreas que ocorreram alterações.

Com a utilização da ferramenta do *software* ENVI, foi possível avaliar variadas técnicas dentro de um mesmo contexto multitemporal, proporcionando a melhor forma de identificar as mudanças no terreno.

Observou-se que as cenas pancromáticas do sensor HRC proporcionaram bons resultados, pois além de serem gratuitas, apresentaram resolução espacial condizente, além de determinarem pontualmente as construções representadas nos Casos A e B.

O conhecimento prévio da área de estudo, bem com as análises do comportamento dos alvos, apresentados nas imagens HRC, nos distintos períodos, através de registro fotográfico e análise *in loco*, foram de grande relevância para o entendimento do comportamento das superfícies analisadas.

Por fim, dentre todas as técnicas de detecção de mudanças analisadas, a diferença simples padronizada (Fig. 7e; 11e) mostrou melhor resultado, pois delimitou os alvos como forma mais aproximada do real, apresentou os melhores

índices de detecção, excelente efeito visual de tonalidades fortes (vermelho e azul) e demarcou melhor as bordas onde ocorreu a mudança e não mudança, respectivamente. Esta técnica ainda se mostrou robusta, por classificar com assertividade quase que a totalidade da variação de níveis de cinza como áreas de mudança. Logo, os percentuais elevados de área de detecção corretamente avaliada (92,6% e 94,5%, respectivamente), foram fatores preponderantes para elencar esta técnica como a mais promissora.

### Recomendações

Com base nos resultados encontrados, recomenda-se estender esta metodologia a diferentes tipos de alvos, para que possa efetivamente avaliar a potencialidade das técnicas frente as mais diversas variações de materiais, refletidos no comportamento dos níveis de cinza.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. C. M. Bessa, "Detecção de mudanças em solo urbano com a utilização de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial", INPE, Anais de Sensoriamento Remoto, p. 6626, 2011, [XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba]. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0165.pdf>>. Acesso em: 06/10/2011.
- [2] H. R. Bittencourt, V. Haertel, "Detecção de mudanças a partir de imagens de fração: uma abordagem fuzzy empregando o conceito de *pixel* de mistura", INPE, Anais de Sensoriamento Remoto, p. 1275-1281, 2009, [XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal]. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.23.32/doc/1275-1281.pdf>>. Acesso em: 21/08/2011.
- [3] M. J. Canty, "Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, With Algorithms For ENVI/IDL". Taylor & Francis, 2007.
- [4] J. O. A. Carvalho, N. C. Silva, "Detecção de Mudança Espectral uma nova metodologia para análise de séries temporais", INPE, Anais de Sensoriamento Remoto, p. 5635-5641, 2007, [XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis]. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.24.14.04/doc/5635-5641.pdf>>. Acesso em: 22/08/2011.
- [5] China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS), "Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres", Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/>> Acesso em: 24/09/2011.
- [6] Environment for Visualizing Images (ENVI), "Guia do ENVI em português", V4.0. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>>. Acesso em: 06/10/2011.
- [7] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (INPE-DGI), "Imagens da cidade de Brasília - DF". Duas imagens de satélite CBERS-2B / Sensor HRC: 05/06/2008 e 21/08/2009, Bandas pancromáticas, Base 157B / Ponto: 118\_1. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acesso em: 21/09/2011.
- [8] B. Jasani, M. Pesaresi, S. Schneiderbauer, G. Zeug, "Remote Sensing from Space". Springer, 2009.
- [9] J. R. Jensen, "Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres". Parêntese, 2009.
- [10] S. M. D. Jong, F. D.V. D. Meer, "Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain". Springer, 2006.
- [11] M. A. Moreira, "Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação", 4ed. UFV, 2011.
- [12] E. M. L. M. Novo, "Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações", 4ed. Blucher, 2010.
- [13] S. P. Polizel, M. L. Marques, N. R. Costa, E. Rossi, M. V. Ferreira, "Aplicação e avaliação de técnicas de fusão em imagens Ikonos e GeoEye", INPE, Anais de Sensoriamento Remoto, p. 4489, 2011, [XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba]. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/capa.html>>. Acesso em: 20/08/2012.