

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

ANDERSON ADAIME DE BORBA

Relatório Técnico IGARSS–2021

São Paulo
2020

Lista de Abreviaturas

RAR	Radar de abertura real
SAR	Radar de abertura sintética
PolSAR	Radar de abertura sintética polarimétrica
PDF	Função densidade de probabilidade
ROI	Região de Interesse
LoG	Detector de borda usando o laplaciano da gaussiana
MLE	Método estimativa de máxima verossimilhança
MS	Média simples
MR-DWT	Transformada <i>wavelet</i> discreta com múltiplas resoluções
PCA	Análise das componentes principais
E-ROC	Estatística ROC (<i>Receiver operating characteristic</i>)
MR-SWT	Transformada <i>wavelet</i> estacionária com múltiplas resoluções
MR-SVD	Decomposição em valores singulares com múltiplas resoluções
GenSA	Método Simulated annealing
BFGS	Método Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno
VHR	<i>Very High Resolution</i>
DLR	Centro espacial da Alemanha
BSA	Sistema de coordenadas <i>Back Scattering Alignment</i>
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>

Lista de Símbolos

L	Número de visadas em uma imagem PolSAR
Σ	Matriz de covariância hermitiana e definida positiva
$E[\cdot]$	Valor esperado
Γ	Função Gamma
Γ_m	Função Gamma multivariada
$W(\Sigma, L)$	Distribuição Wishart

Lista de Figuras

1.1	Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{hh}	5
1.2	Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{hv}	6
1.3	Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{vv}	7
1.4	Matriz de confusão para a fusão por média	8
1.5	Matriz de confusão para a fusão PCA	9
1.6	Matriz de confusão para a fusão MR–SWT	10
1.7	Matriz de confusão para a fusão MR–DWT	10
1.8	Matriz de confusão para a fusão ROC	11
1.9	Matriz de confusão para a fusão MR–SVD	12
1.10	Entradas das matrizes de confusão para os métodos de detecção	13
1.11	Métricas para os métodos de detecção	14

Lista de Tabelas

1.1	Matriz de confusão.	1
1.2	Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$	1
1.3	Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$	2
1.4	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{hh}	5
1.5	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{hv}	6
1.6	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{vv}	7
1.7	Métricas para o método de fusão por média.	8
1.8	Métricas para o método de fusão PCA.	9
1.9	Métricas para o método de fusão MR–SWT.	9
1.10	Métricas para o método de fusão MR–DWT.	11
1.11	Métricas para o método de fusão ROC.	11
1.12	Métricas para o método de fusão MR–SVD.	12
1.13	Matriz de confusão.	12
1.14	Métricas.	12
1.15	Métricas de distância	13

Sumário

Lista de Abreviaturas	i
Lista de Símbolos	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
1 Métricas	1
1.1 Métricas baseadas na matriz de confusão	1
1.1.1 Métrica acurácia – Mac	2
1.1.2 Métrica F_1 score – Mfe	3
1.1.3 Métrica <i>Matthews correlation coefficient</i> – Mcc	4
1.1.4 Métrica Recall – Mre	4
1.1.5 Métrica Especificidade – Mesp	4
1.1.6 Métrica Razão de positivos falsos – Mrpf	4
1.1.7 Métrica Razão de negativos falsos – Mrnf	4
1.1.8 Métrica Precisão – Mprec	5
1.1.9 Métrica Valores preditos negativo –Mnpv	5
1.2 Resultados da aplicação das métricas	5
1.3 Observações	6
1.4 Metricas de distância	8
Referências Bibliográficas	15

Capítulo 1

Métricas

Naidu e Raol (2008)

1.1 Métricas baseadas na matriz de confusão

Nesta seção são apresentadas métricas usadas para medir a eficiência das tarefas de classificações. A métricas são baseadas na matriz de confusão, considerando a instância

Tabela 1.1: *Matriz de confusão.*

Classes definidas como verdadeiras			
Classes preditas	n	p	
p	Positivos falsos (FP)	Positivos verdadeiros (TP)	
n	Negativos verdadeiros (TN)	Negativos falsos (FN)	

positiva por $p = 1$, e a instância negativa por $n = 0$, a tabela será:

Tabela 1.2: *Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$.*

Classes definidas como verdadeiras			
Classes preditas	0	1	
1	Positivos falsos (FP)	Positivos verdadeiros (TP)	
0	Negativos verdadeiros (TN)	Negativos falsos (FN)	

As instâncias pode ser rotuladas como positivas ($p = 1$) e negativas ($n = 0$), e classificados por:

- (i) TP - Rotuladas positivas e corretamente predita como positiva.
- (ii) FN - Rotuladas positivas e erradamente predita como negativa.
- (iii) TN - Rotuladas negativas e corretamente predita como negativa.

(iv) FP - Rotuladas negativas e erradamente predita como positiva.

Definindo $n^+ = TP+FN$ e $n^- = TN+FP$, quando o FN e FP tendem para zero, podemos afirmar que alcançamos a classificação perfeita, isto é, $n^+ = TP$ e $n^- = TN$ com matriz de confusão:

Tabela 1.3: Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$.

Classes definidas como verdadeiras		
Classes preditas	0	1
1	0	$n^+ = TP$
0	$n^- = TN$	0

Representamos a matriz de confusão,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} FP & TP \\ TN & FN \end{bmatrix}. \quad (1.1)$$

1.1.1 Métrica acurácia – Mac

A métrica acurácia é definida por,

$$Mac = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}. \quad (1.2)$$

O valor acurado é o retorno da métrica próximo de 1, pois se a classificação for

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} n^+ & 0 \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

calculamos a métrica acurácia,

$$Mac = \frac{n^+ + n^-}{n^+ + n^-} = 1$$

e na pior classificação,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & n^+ \\ n^- & 0 \end{bmatrix}.$$

calculando a métrica

$$Mac = \frac{0 + 0}{n^+ + n^-} = 0.$$

Assim a métrica acurácia

(i) No melhor caso $Mac=1$.

(ii) No pior caso $Mac=0$.

Um conjunto de dados binários é considerado balanceados quando as classes têm o mesmo tamanho. Para informar se um conjunto de dados é balanceado ou não definimos a medida *no information error rate*

$$ni = \frac{\max\{n^+, n^-\}}{n^+ + n^-}, \quad (1.3)$$

se o conjunto de dados é balanceado o valor de $ni = \frac{1}{2}$. Portanto, quando o conjunto de dados for desbalanceado a métrica acurácia pode fornecer um valor degenerado. Por exemplo, se a classificação fornece a seguinte matriz

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} n^+ & 0 \\ n^- & 0 \end{bmatrix}.$$

A métrica acurácia retorna o valor:

$$\text{Mac} = \frac{n^+ + 0}{n^+ + n^-} = ni \sim 1.$$

em um conjunto de dados desbalanceado.

Outro problema pode acontecer mesmo em um conjunto de dados balanceado e corretamente classificado, seja a matriz desta classificação:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{n^+}{2} & \frac{n^+}{2} \\ \frac{n^-}{2} & \frac{n^-}{2} \end{bmatrix},$$

calculando a acurácia:

$$\text{Mac} = \frac{\frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2}}{\frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2} + \frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2}} = \frac{1}{2}.$$

Neste caso temos uma classificação realizado corretamente e uma medida de acurácia não correspondente a correta classificação.

1.1.2 Métrica F_1 escore – Mfe

A métrica Mfe é definida por:

$$\text{Mfe} = \frac{2 \cdot \text{TP}}{2 \cdot \text{TP} + \text{FP} + \text{FN}}. \quad (1.4)$$

Assim a métrica Mfe retorna:

- (i) No melhor caso $\text{Mfe}=1$.
- (ii) No pior caso $\text{Mfe}=0$.

Podemos notar que a métrica Mfe não depende da entrada TN da matriz de confusão, portanto não é definida para a seguinte matriz de confusão corretamente imposta,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

Da mesma forma, a métrica Mfe apresenta problema se a classificação gera a matriz de confusão do tipo

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & n^+ \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

o cálculo de Mfe é:

$$\text{Mfe} = \frac{0}{0 + n^- + 0} = 0. \quad (1.5)$$

portanto a métrica produz um resultado degenerado, mesmo a classificação sendo correta.

1.1.3 Métrica *Matthews correlation coefficient* – Mcc

$$\text{Mcc} = \frac{\text{TP} \cdot \text{TN} - \text{FP} \cdot \text{FN}}{\sqrt{(\text{TP} + \text{FP}) \cdot (\text{TP} + \text{FN}) \cdot (\text{TN} + \text{FP}) \cdot (\text{TN} + \text{FN})}} \quad (1.6)$$

1.1.4 Métrica Recall – Mre

$$\text{Mre} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (1.7)$$

1.1.5 Métrica Especificidade – Mesp

$$\text{Mesp} = \frac{\text{TN}}{\text{TN} + \text{FP}} \quad (1.8)$$

1.1.6 Métrica Razão de positivos falsos – Mrpf

$$\text{Mrpf} = \frac{\text{FP}}{\text{TN} + \text{FP}} \quad (1.9)$$

1.1.7 Métrica Razão de negativos falsos – Mrnf

$$\text{Mrnf} = \frac{\text{FN}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (1.10)$$

1.1.8 Métrica Precisão – Mprec

$$M_{prec} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1.11)$$

1.1.9 Métrica Valores preditos negativo –Mnpv

$$M_{prec} = \frac{TN}{TN+FN} \quad (1.12)$$

1.2 Resultados da aplicação das métricas

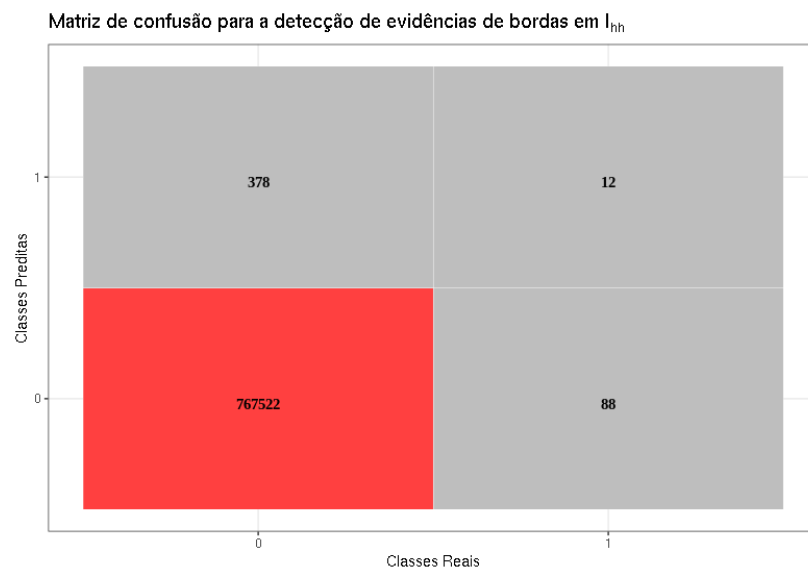


Figura 1.1: Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{hh}

Tabela 1.4: Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{hh} .

I _{hh}	MLE	Matriz de confusão			
				Valores	Preditos
		Valores		12	88
		Reais		378	767522
		Bordas/Não bordas		390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc	
		0.9993	0.0489	0.5301	

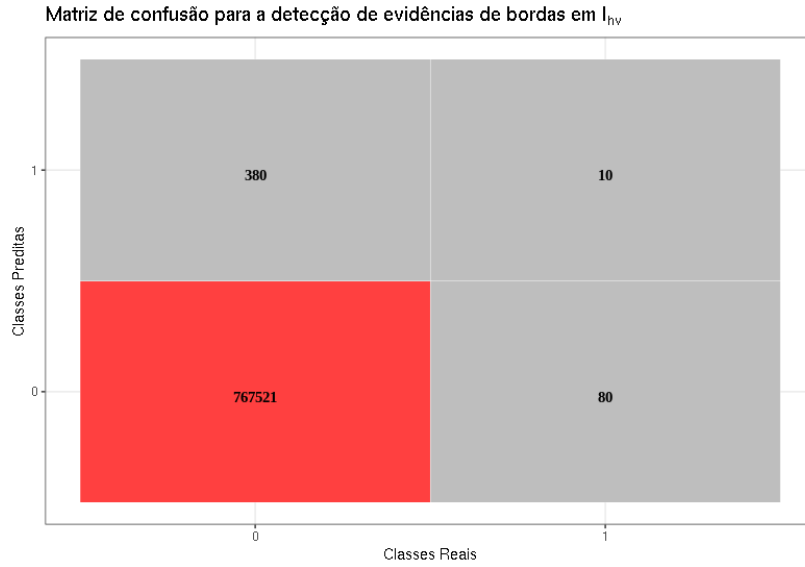


Figura 1.2: Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{hv}

Tabela 1.5: Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{hv} .

I_{hv}	MLE	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		Valores Reais	10	89
		Bordas/Não bordas	380	767521
			390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9993	0.0408	0.5253

1.3 Observações

- (i) A base de dados é desbalanceada seguindo a definição (1.3) aplicado na GT.

$$ni = \frac{TN}{TP+TN} \sim 1.$$

TN= 767612 e TP = 390.

- (ii) Na métrica acurácia as classificações TP não exercem influência no seu valor. Podemos ver na tabela 1.13 a diferença entre as TP da ROC e da Fusão MR–SWT e como isso afeta pouco no calculo de Mac, veja tabela 1.15.
- (iii) Para calcular a métrica Mfe não consideramos o TN. Podemos ver na tabela 1.13 que $2 * TP < FP + FN$ influenciando nos valores próximos de zero para a

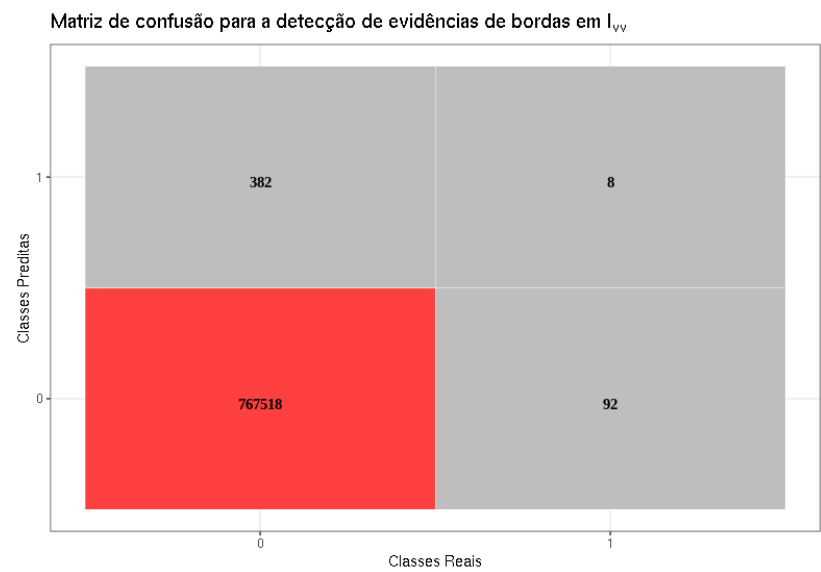


Figura 1.3: Matriz de confusão para a evidências de bordas I_{vv}

Tabela 1.6: Métricas para detecção de evidências de bordas no canal I_{vv} .

I_{vv}	MLE	Matriz de confusão		
				Valores
				Preditos
		Valores Reais	8	92
			382	767518
		Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas				
	Mac	Mfe	Mcc	
	0.9993	0.0326	0.5201	

métrica Mfe. Assim, podemos observar que o pixel erradamente classificados são superiores aos classificados como positivos verdadeiros. A base de dados desbalanceada conduz a Mfe retornar valores próximos de zero.

(iv)

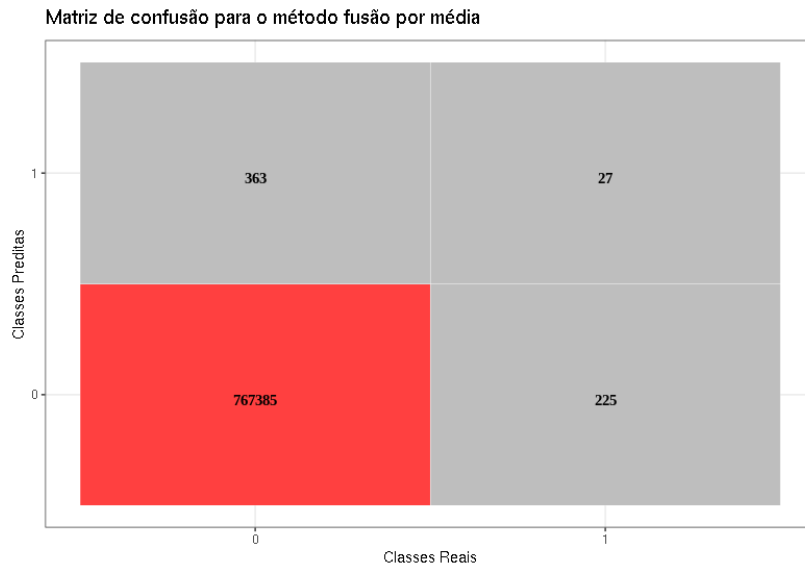


Figura 1.4: Matriz de confusão para a fusão por média

Tabela 1.7: Métricas para o método de fusão por média.

IF	Fusão por média	Matriz de confusão		
				Valores Preditos
		Valores Reais	27	225
		Bordas/Não bordas	363	767385
			390	767610
Métricas				
	Mac	Mfe	Mcc	
	0.9992	0.0841	0.5428	

1.4 Métricas de distância

- Para cada evidência de borda ou borda calculada foi traçado uma radial.
- Cada radial foi interseccionada com a *Reference Truth* resultando em um pixel de referência.
- A evidência de borda ou as bordas detectadas em cada radial foram comparadas (distância euclidiana) com o pixel de referência e armazenado a menor distância em um vetor erro.
- Com o vetor erro podemos calcular a métrica, por exemplo, a média dos erros ou a RMSE.

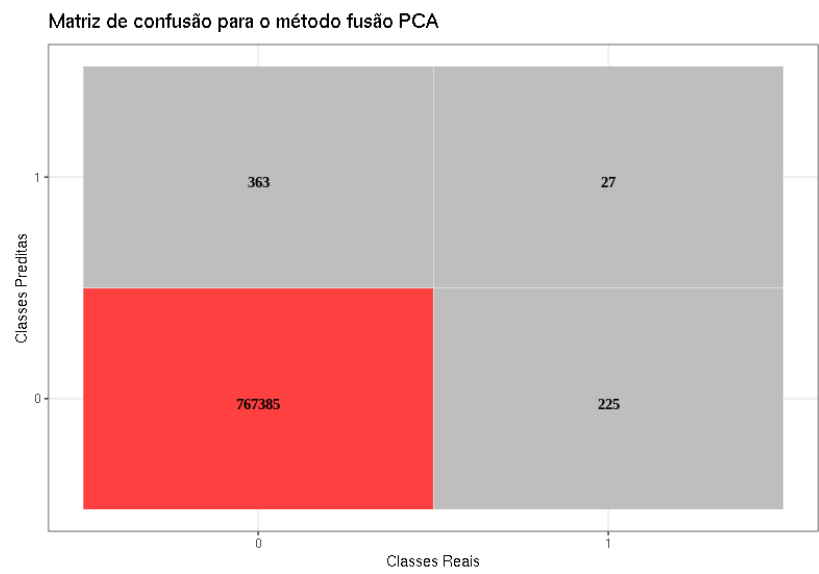


Figura 1.5: Matriz de confusão para a fusão PCA

Tabela 1.8: Métricas para o método de fusão PCA.

IF	Fusão PCA	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		Valores Reais	27	225
			363	767385
		Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9992	0.0841	0.5428

Tabela 1.9: Métricas para o método de fusão MR–SWT.

IF	Fusão MR–SWT	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
	Valores Reais		354	5055
			36	762555
	Bordas/Não bordas		390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9933	0.1220	0.6213

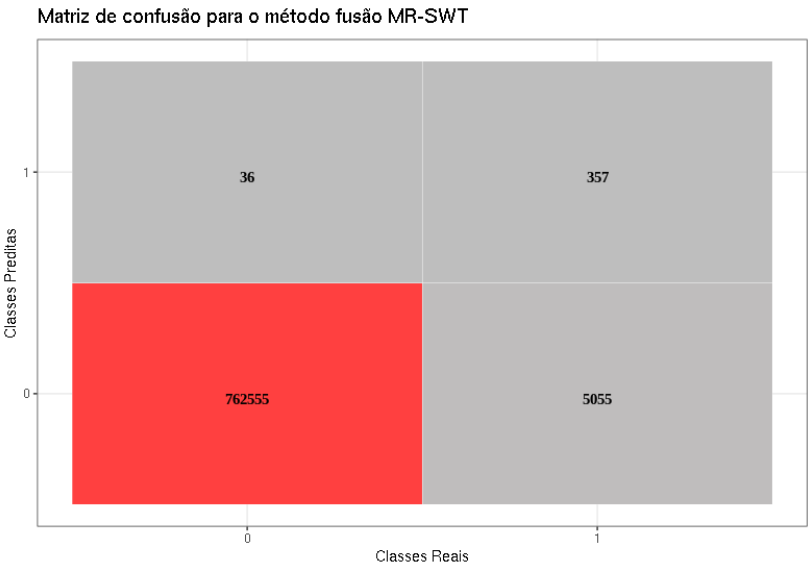


Figura 1.6: Matriz de confusão para a fusão MR-SWT

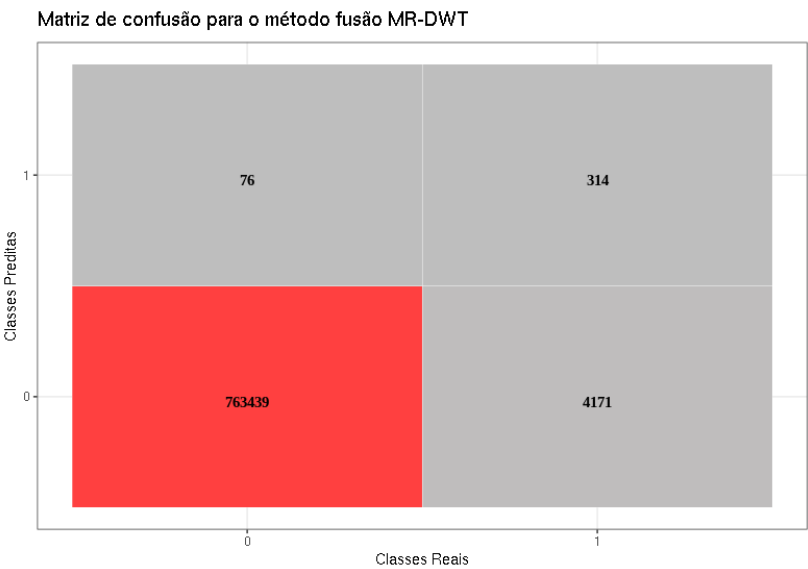


Figura 1.7: Matriz de confusão para a fusão MR-DWT

Tabela 1.10: Métricas para o método de fusão MR–DWT.

IF	Fusão MR–DWT	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		Valores	314	4171
		Reais	76	763439
		Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9944	0.1288	0.6182

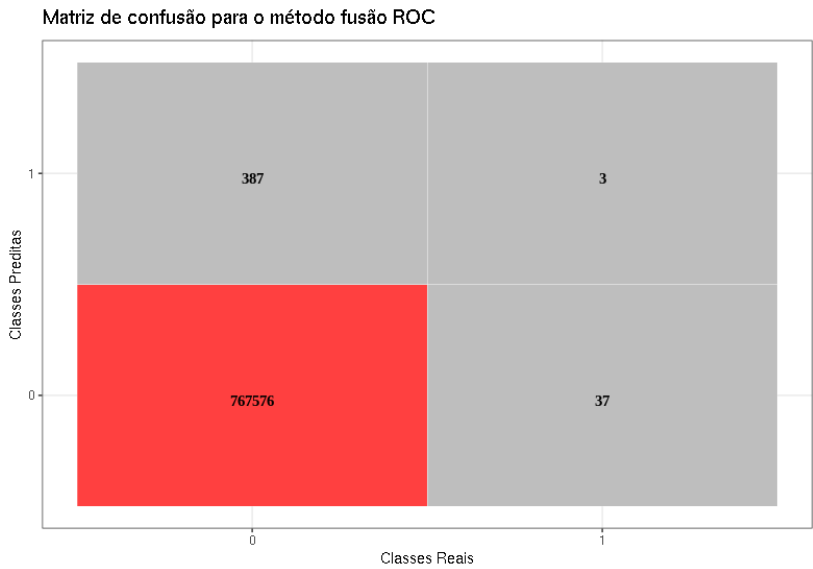


Figura 1.8: Matriz de confusão para a fusão ROC

Tabela 1.11: Métricas para o método de fusão ROC.

IF	Fusão ROC	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		Valores	3	37
		Reais	387	767573
		Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9994	0.0139	0.5119

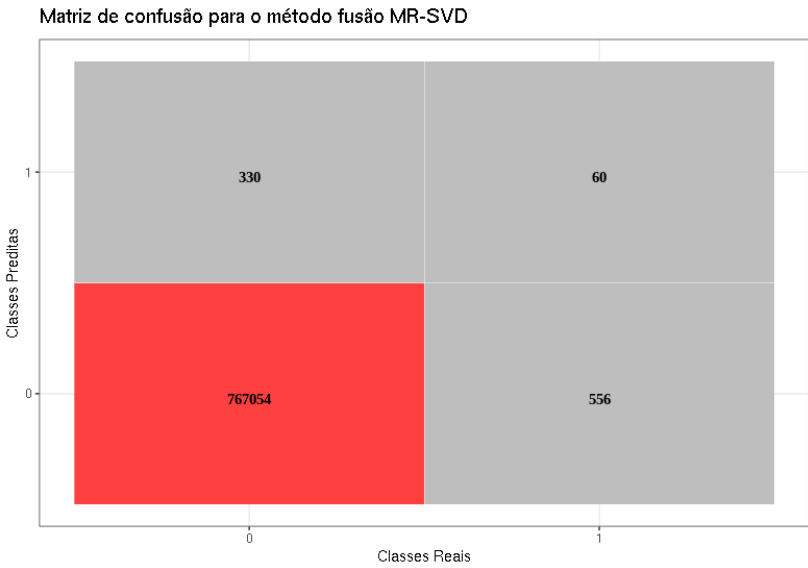


Figura 1.9: Matriz de confusão para a fusão MR-SVD

Tabela 1.12: Métricas para o método de fusão MR-SVD.

IF	Fusão MR–SVD	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		Valores	60	556
		Reais	330	767054
		Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc
		0.9988	0.1192	0.5609

Tabela 1.13: Matriz de confusão.

Comparação entre os métodos									
Classificação	MLE(I_{hh})	MLE(I_{hv})	MLE(I_{vv})	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
TP	12	10	8	27	27	357	314	3	60
FN	88	80	92	225	225	5055	4171	37	556
FP	378	380	382	363	363	36	76	387	330
TN	767521	767521	767518	767385	767385	762555	763439	767576	767054

Tabela 1.14: Métricas.

Comparação entre os métodos									
Métricas	MLE(I_{hh})	MLE(I_{hv})	MLE(I_{vv})	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
Mac	0.9993	0.9993	0.9993	0.9992	0.9992	0.9933	0.9944	0.9994	0.9988
Mfe	0.0489	0.0408	0.0326	0.0841	0.0841	0.1220	0.1288	0.0139	0.1192
Mcc	0.5301	0.5253	0.5201	0.5428	0.5428	0.6213	0.6182	0.5119	0.5609
Mre	0.1200	0.1010	0.0800	0.1071	0.1071	0.0654	0.0700	0.0750	0.0974
Mspe	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9999	0.9999	0.9994	0.9995
Mfpr	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.00004	0.00009	0.0005	0.0004
Mfmr	0.8800	0.8989	0.9200	0.8928	0.8928	0.93451	0.92998	0.9250	0.9025
Mprec	0.0307	0.0256	0.0205	0.0692	0.0692	0.90769	0.80512	0.0076	0.1538
Mnpv	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.00658	0.00543	0.00004	0.0007

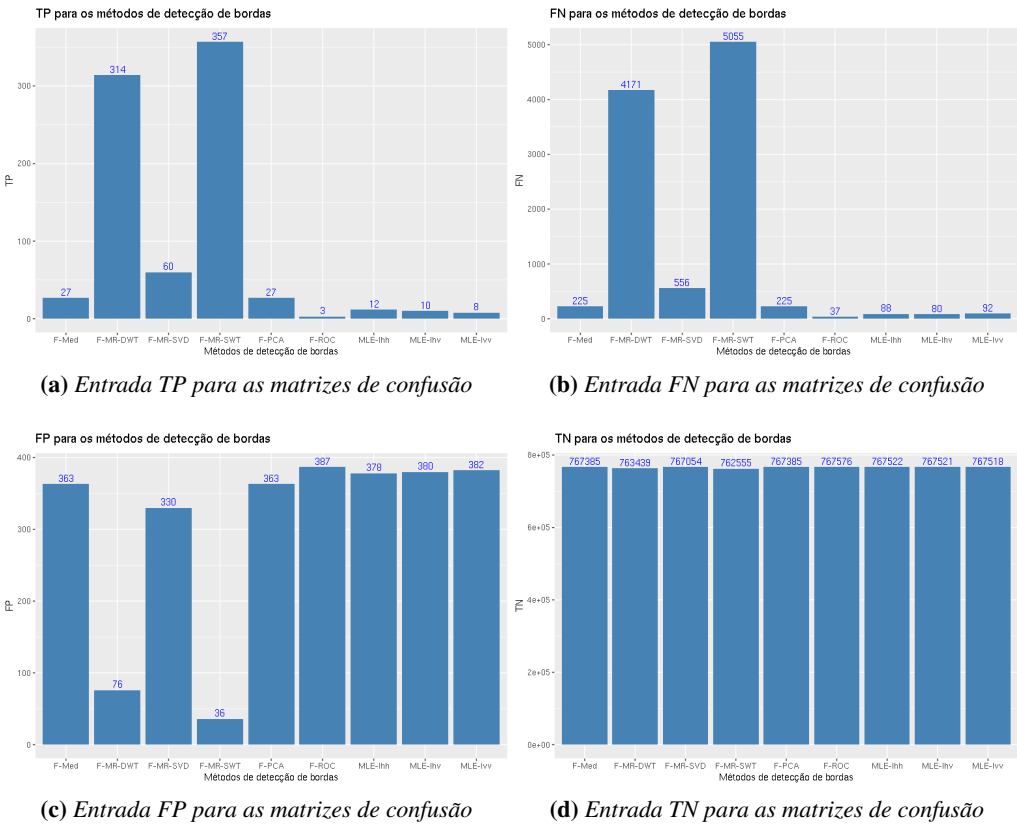


Figura 1.10: Entradas das matrizes de confusão para os métodos de detecção

Tabela 1.15: Métricas de distância

Comparação entre os métodos									
Métricas	MLE(I_{hh})	MLE(I_{hv})	MLE(I_{vv})	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
MAE	2.6300	1.8251	3.5726	0.6873	0.6873	0.2192	0.5186	3.4505	0.9041
RMSE	8.1258	3.0583	5.9270	1.0801	1.0801	0.5141	0.8220	7.6615	1.1353

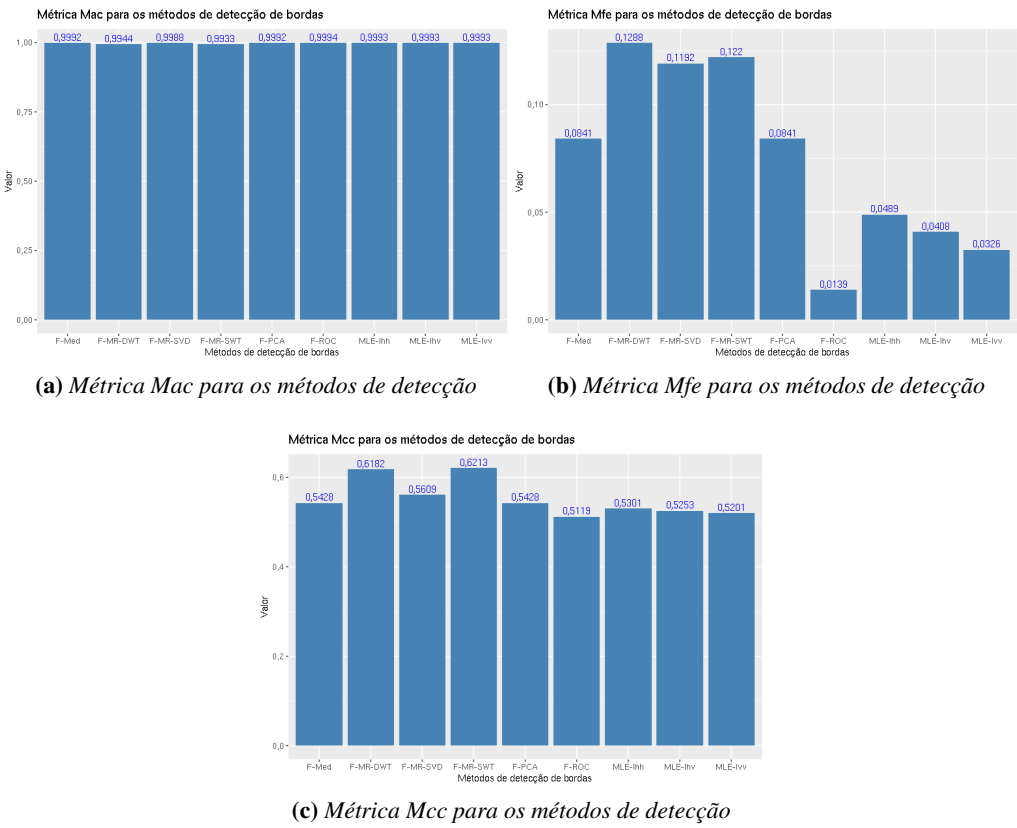


Figura 1.11: Métricas para os métodos de detecção

Referências Bibliográficas

Naidu e Raol(2008) V. P. S. Naidu e J. R. Raol. Pixel-level image fusion using wavelets and principal component analysis. *Defence Science Journal*, 58:338–352. Citado na pág.

[1](#)