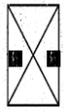
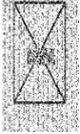
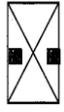
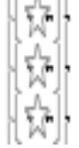
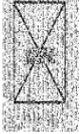
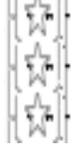
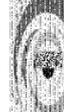


Quadro 15 - Resultado da extração da marca d'água em formato JPEG após ataque de colagem

JPEG/Colagem central		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						
Lena	Simple						
	Média						
	Complexa						
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

Quadro 16 - Resultado da extração da marca d'água em formato PNG após ataque de colagem

PNG/Colagem central		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						
Lena	Simple						
	Média						
	Complexa						
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

4.2.7. Resultado do ataque nitidez

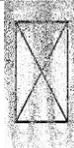
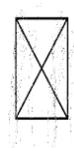
O Quadro 17 compara as imagens recuperadas para cada técnica, imagem de cobertura e marca d'água para o formato JPEG submetido ao ataque de nitidez.

Todos os algoritmos apresentaram a marca com sucesso, exceto LSB. As técnicas DCT AC, Fusion e WDCT apresentaram ruído reduzido e boa qualidade, sendo estes os de melhor desempenho. DCT DC e DCT AC DC exibiram grande quantidade de ruído, mas não ao ponto de impedir o reconhecimento da marca. A técnica WDCT apresentou o efeito de repetição e uma diminuição na nitidez.

O Quadro 18 compara as imagens recuperadas para cada técnica, imagem de cobertura e marca d'água para o formato PNG submetido ao ataque de nitidez.

Para o formato PNG, todas os algoritmos apresentaram ótimo resultado, excetuando-se LSB – que não apresentou a marca – e DCT AC DC – que apresentou grande intensidade de ruído. Interessante observar que a técnica DCT DC exibiu grande intensidade de ruído para o formato JPEG, mas para o formato PNG, obteve o melhor desempenho em relação aos outros algoritmos. Novamente, o efeito de repetição da WDCT foi observado para o formato PNG.

Quadro 17 - Resultado da extração da marca d'água em formato JPEG após ataque sharpen

JPEG/Nitidez		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						
Lena	Simple						

JPEG/Nitidez		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
	Média						
	Complexa						
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

Quadro 18 - Resultado da extração da marca d'água em formato PNG após ataque sharpen

PNG/Nitidez		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						

PNG/Nitidez		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Lena	Simple						
	Média						
	Complexa						
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

4.2.8. Resultado do ataque de corte

O Quadro 19 compara as imagens recuperadas para cada técnica, imagem de cobertura e marca d'água para o formato JPEG submetido ao ataque do tipo corte.

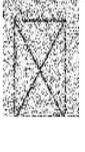
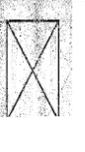
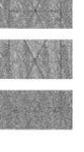
O ataque de corte aplicado destruiu um volume considerável da imagem, mas todos os algoritmos “espalharam” a marca pela imagem portadora, evitando sua destruição completa. Com exceção da LSB, todos os algoritmos foram capazes de restaurar a marca d'água, mas não por inteiro, uma vez que parte da informação foi removida. O Quadro 19 mostra que, para todos os algoritmos, a parte inferior da marca foi perdida, com exceção da LSB. As técnicas DCT AC, Fusion e WDCT exibiram bons resultados, com destaque para a Fusion. A técnica DCT AC DC, na porção inferior apresentou uma união dos algoritmos DCT AC e DCT DC, enquanto a

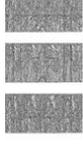
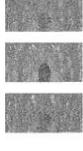
DCT AC exibiu um bloco negro na parte inferior, a DCT DC exibiu um bloco branco, dessa forma, a DCT AC DC mostrou linhas intermitentes pretas e brancas.

O Quadro 20 compara as imagens recuperadas para cada técnica, imagem de cobertura e marca d'água para o formato PNG submetido ao ataque de tipo corte.

A qualidade da marca d'água recuperada para o formato PNG é visivelmente superior. O algoritmo LSB, que não apresentara resultado para o formato JPEG, apresentou a melhor qualidade de recuperação. O algoritmo DCT AC DC apresentou intenso ruído, mas a imagem ainda é reconhecível. A técnica Fusion, novamente apresentou uma boa qualidade de imagem, apesar de um pequeno ruído.

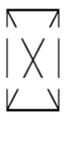
Quadro 19 - Resultado da extração da marca d'água em formato JPEG após ataque de corte

JPEG/Corte abaixo		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						
Lena	Simple						
	Média						
	Complexa						

JPEG/Corte abaixo		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

Quadro 20 - Resultado da extração da marca d'água em formato PNG após ataque de corte

PNG/Corte abaixo		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
Baboon	Simple						
	Média						
	Complexa						
Lena	Simple						
	Média						

PNG/Corte abaixo		DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSION	WDCT
	Complexa						
Pepper	Simple						
	Média						
	Complexa						

Fonte: Do Autor, 2015

4.2.9. Qualidade de Imagem

O Quadro 21, mostra de forma exaustiva as métricas PSNR, RMSE e SSIM para cada algoritmo, aplicado em cada imagem portadora (Baboon, Lena e Pepper) e cada marca d'água (as marcas assim referidas como de simples, média e alta complexidade) para o formato JPEG.

Tomando a métrica SSIM como balizador, todas as técnicas apresentaram um índice de similaridade maior que 98%. De fato, maior que 99%, com exceção do algoritmo DCT AC DC e, em alguns casos, para LSB. Isto é, o nível de semelhança entre a imagem original e a imagem portadora (contendo o dado oculto) é de, pelo menos, 98%. Mesmo de posse da imagem original, um observador encontrará dificuldade em apontar a diferença entre as imagens.

As Figuras 32, 33 e 34 ilustram graficamente o índice de similaridade entre a imagem original e a imagem portadora. Observa-se que a técnica LSB foi a menos danosa a imagem, em contraponto, a técnica DCT AC DC gerou o maior nível de distorção.

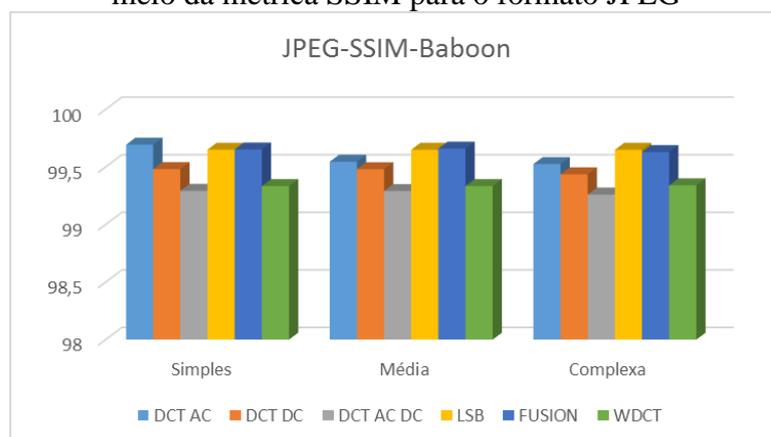
Nota-se também que a imagem de cobertura é mais importante que a marca, no que tange ao índice de similaridade. É notável que a proporção de semelhança se mantém estável, mesmo quando é utilizada uma marca d'água diferente, isto é, a variação é mais acentuada entre a imagem de cobertura e o algoritmo selecionado e menos pela marca d'água.

Quadro 21- Quadro de métricas de incorporação para o formato JPEG

JPEG			DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSIO N	WDCT
Baboon	Simples	PSNR	37,382065	40,593290	36,432647	40,231046	44,979246	35,474445
		RMSE	3,446965	2,381638	3,845102	2,483064	1,437401	4,293564
		SSIM	99,692937	99,481470	99,292467	99,649533	99,651735	99,333233
	Média	PSNR	36,951192	40,569823	36,458360	40,262445	45,609996	35,475651
		RMSE	3,622268	2,388081	3,833736	2,474104	1,336720	4,292968
		SSIM	99,545224	99,480288	99,290771	99,648959	99,659289	99,333961
	Complexa	PSNR	36,943442	40,078675	36,182131	40,065798	41,895265	35,475415
		RMSE	3,625501	2,527007	3,957616	2,530756	2,050109	4,293084
		SSIM	99,525079	99,435579	99,259752	99,648512	99,629083	99,339979
Lena	Simples	PSNR	37,295251	49,841204	37,710713	50,076066	47,966323	40,104136
		RMSE	3,481590	0,821259	3,318979	0,799350	1,019117	2,519610
		SSIM	99,216005	99,451135	98,790977	99,900330	99,589480	99,339720
	Média	PSNR	37,297540	49,737632	37,740221	50,151234	49,242687	40,105781
		RMSE	3,480673	0,831110	3,307723	0,792462	0,879844	2,519133
		SSIM	99,217925	99,444880	98,784116	99,899744	99,564954	99,336673
	Complexa	PSNR	37,295467	48,010872	37,442100	49,421372	44,091856	40,108390
		RMSE	3,481503	1,013903	3,423223	0,861929	1,592016	2,518377
		SSIM	99,180780	99,315161	98,693423	99,898423	99,514505	99,349992
Pepper	Simples	PSNR	37,619495	49,948817	38,017267	50,131550	48,478647	39,932586
		RMSE	3,354018	0,811147	3,203885	0,794260	0,960744	2,569868
		SSIM	99,164569	99,380350	98,626312	99,905488	98,228029	99,353029
	Média	PSNR	37,618674	49,870912	38,043986	50,222130	49,781787	39,935378
		RMSE	3,354335	0,818455	3,194044	0,786020	0,826896	2,569042
		SSIM	99,169819	99,378914	98,627839	99,901634	98,216158	99,350858
	Complexa	PSNR	37,618469	48,165285	37,733488	49,521416	44,551522	39,932327
		RMSE	3,354414	0,996038	3,310288	0,852058	1,509955	2,569945
		SSIM	99,136799	99,269433	98,566268	99,911832	98,311625	99,363452

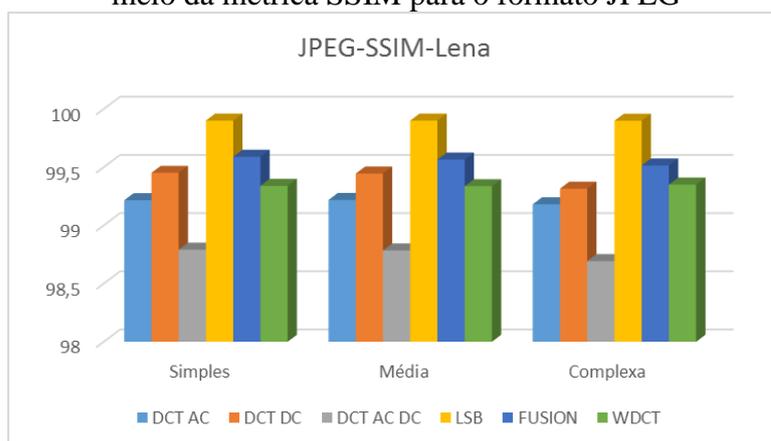
Fonte: Do Autor, 2015

Figura 32 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Baboon” por meio da métrica SSIM para o formato JPEG



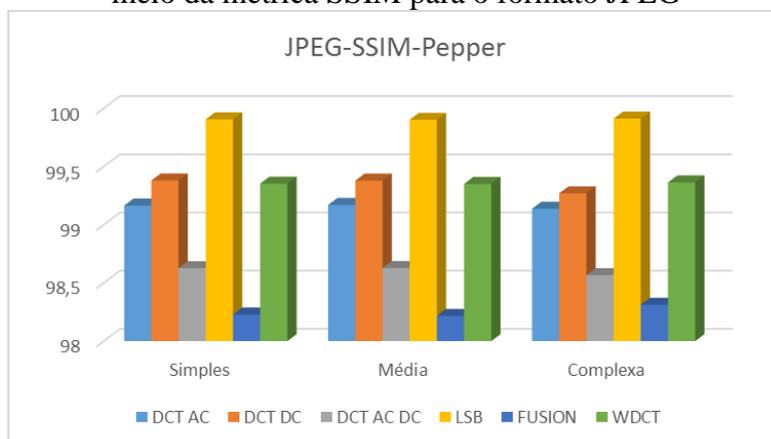
Fonte: Do Autor, 2015

Figura 33 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Lena” por meio da métrica SSIM para o formato JPEG



Fonte: Do Autor, 2015

Figura 34 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Pepper” por meio da métrica SSIM para o formato JPEG



Fonte: Do Autor, 2015

Para a imagem Baboon, todas as medidas (SSIM) ficaram acima de 99% de similaridade, conforme Figura 31, quando comparada a imagem original a imagem estego. O mesmo não ocorre com as imagens Lena e Pepper (Figuras 33 e 34), isto é, cada algoritmo apresenta resultados distintos para a mesma imagem.

Para a imagem Baboon, utilizando o formato JPEG, a variação de similaridade para as marcas d'água simples, média e complexa foi: DCT AC 0,1687%; DCT DC 0,0462%; DCT AC DC 0,0330%; LSB 0,0010%; FUSION 0,0303% e WDCT 0,0068%;

O Quadro 22, mostra de forma exaustiva as métricas PSNR, RMSE e SSIM para cada algoritmo, aplicado em cada imagem portadora (Baboon, Lena e Pepper) e cada marca d'água (as marcas assim referidas como de simples, média e alta complexidade) para o formato PNG.

A análise das métricas para o formato JPEG em relação ao formato PNG, demonstram que a similaridade da imagem estego para a imagem original é maior para o formato de compressão sem perda (PNG). Para todas métricas SSIM analisadas, o PNG apresentou menor ou igual nível de degradação. Isto é, o formato PNG, além de apresentar uma qualidade de recuperação da marca d'água maior, oferece menor grau de distorção da imagem estego.

As imagens 35, 36 e 37 comparam a métrica SSIM entre os diferentes algoritmos, marcas e imagens de cobertura para o formato PNG. Quanto mais detalhes a imagem exhibe, maior o índice de similaridade. De igual modo a comparação realizada para o formato JPEG, o algoritmo LSB, apresentou a maior semelhança e a técnica WDCT apresentou um desempenho inferior para a imagem Pepper, que possui largas áreas de mesma tonalidade de cor.

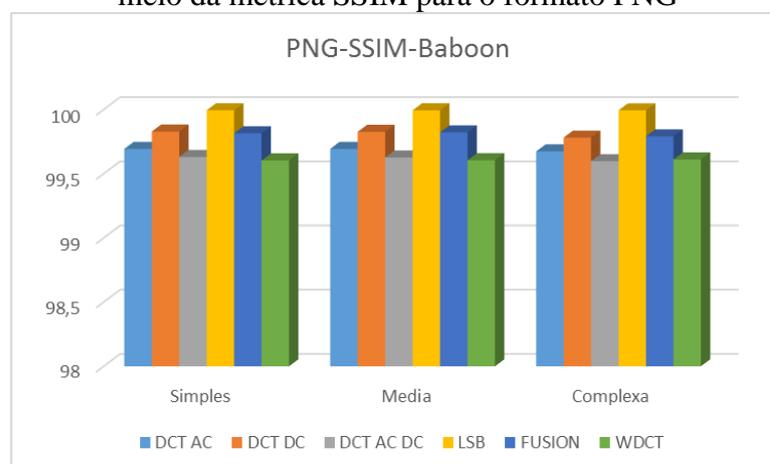
Quadro 22 - Quadro de métricas de incorporação para o formato PNG

PNG			DCT AC	DCT DC	DCT AC DC	LSB	FUSIO N	WDCT
Baboon	Simples	PSNR	37,382065	56,664220	37,875691	62,598498	48,326851	36,677487
		RMSE	3,446965	0,374394	3,256534	0,189067	0,977682	3,738228
		SSIM	99,692937	99,828161	99,630500	99,994369	99,815020	99,603767
	Média	PSNR	37,376326	56,308778	37,889374	63,427998	49,587275	36,677816
		RMSE	3,449244	0,390033	3,251408	0,171846	0,845622	3,738087
		SSIM	99,693432	99,826185	99,626249	99,993725	99,821479	99,604948
	Complexa	PSNR	37,365252	52,117206	37,615359	58,352785	44,360463	36,687083
		RMSE	3,453644	0,631946	3,355616	0,308248	1,543537	3,734101
		SSIM	99,673913	99,780921	99,597743	99,993322	99,790713	99,611409

Lena	Simples	PSNR	37,380747	56,590342	37,889264	62,570741	48,432135	40,536715
		RMSE	3,447488	0,377592	3,251449	0,189672	0,965903	2,397201
		SSIM	99,258895	99,535736	98,871965	99,985094	99,633600	99,406513
	Média	PSNR	37,379957	56,307435	37,918030	63,429074	49,690838	40,539170
		RMSE	3,447802	0,390093	3,240699	0,171825	0,835600	2,396523
		SSIM	99,259769	99,529136	98,864243	99,984564	99,609338	99,404488
	Complexa	PSNR	37,382554	51,998326	37,628698	58,347761	44,445539	40,542387
		RMSE	3,446771	0,640655	3,350467	0,308427	1,528492	2,395636
		SSIM	99,222558	99,398529	98,772870	99,982699	99,563079	99,417024
Pepper	Simples	PSNR	37,705906	56,602007	38,224446	62,618201	48,717933	40,296782
		RMSE	3,320816	0,377086	3,128368	0,188638	0,934638	2,464343
		SSIM	99,171690	99,423813	98,664322	99,950787	98,236042	99,386597
	Média	PSNR	37,705802	56,285671	38,251101	63,448382	50,059320	40,298101
		RMSE	3,320856	0,391072	3,118783	0,171444	0,800892	2,463968
		SSIM	99,177357	99,421716	98,666085	99,946942	98,223822	99,384765
	Complexa	PSNR	37,705827	52,046719	37,948558	58,394042	44,773019	40,297159
		RMSE	3,320847	0,637095	3,229329	0,306788	1,471937	2,464236
		SSIM	99,144503	99,313163	98,604428	99,957608	98,318052	99,397068

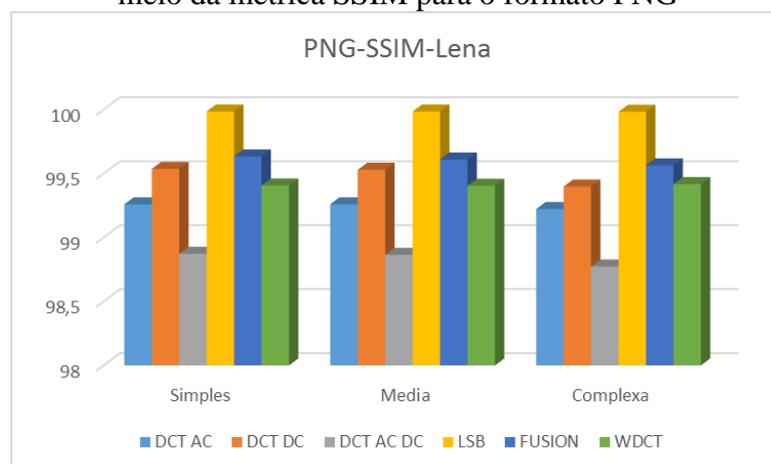
Fonte: Do Autor, 2015

Figura 35 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Baboon” por meio da métrica SSIM para o formato PNG



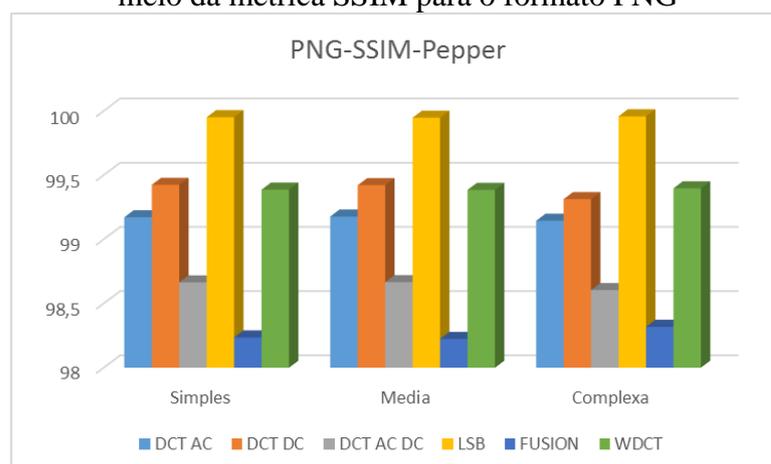
Fonte: Do Autor, 2015

Figura 36 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Lena” por meio da métrica SSIM para o formato PNG



Fonte: Do Autor, 2015

Figura 37 - Comparativo de similaridade da imagem original x imagem estego “Pepper” por meio da métrica SSIM para o formato PNG

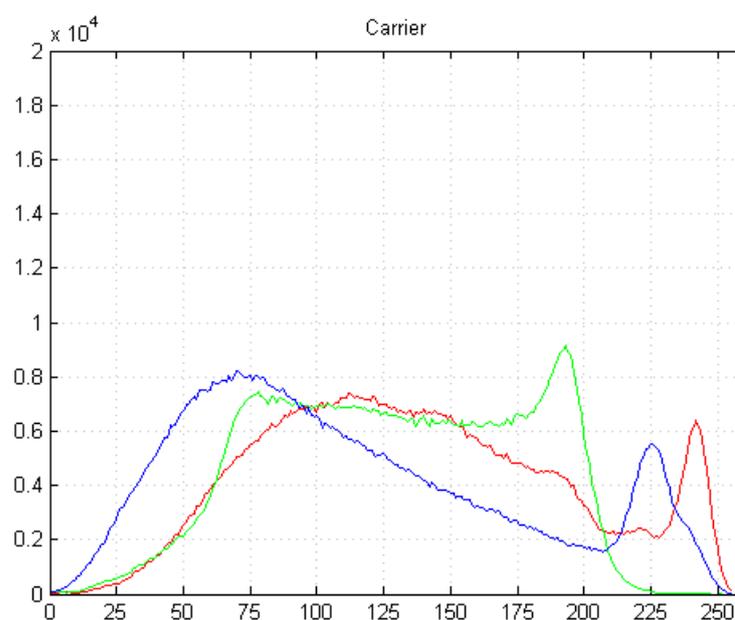


Fonte: Do Autor, 2015

As inspeções visuais e métricas não são os únicos recursos para determinar o nível de distorção de uma imagem, os histogramas se apresentam de maneira auxiliar. Segundo Solomon e Breckon (2013), um histograma é um gráfico da frequência relativa de ocorrência de cada um dos valores de pixel permitidos na imagem em função dos próprios valores. Na possibilidade de uma normalização do gráfico de frequências, de modo que a soma total de todas as entradas de frequência na faixa permitida seja unitária, pode-se tratar o histograma da imagem como uma função densidade de probabilidade discreta, que define a probabilidade de ocorrência de um determinado valor de pixel na imagem. A inspeção visual de um histograma de imagem pode revelar o contraste básico presente na imagem, assim como qualquer diferença potencial nas distribuições de cores de componentes da cena na frente e no fundo da imagem.

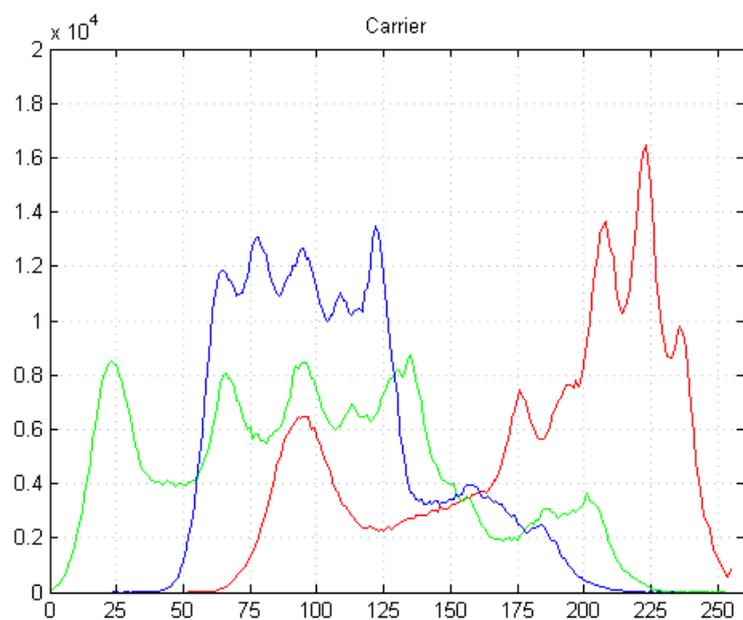
Apesar de todas as métricas apontarem, de maneira geral, a técnica LSB como a de maior similaridade quanto a imagem original, o histograma LSB se apresenta distorcido. De fato, o histograma da técnica LSB apresenta um formato incomum, ao ponto de não ser necessário uma comparação com a imagem original para que dúvidas sobre a imagem sejam levantadas. As Figuras 38, 39, e 40 mostram os histogramas originais das imagens Baboon, Lena e Pepper, respectivamente para o formato JPEG. Esses histogramas serão balizadores para comparar a perturbação infligida por cada técnica esteganográfica.

Figura 38 - Histograma da imagem Baboon para formato JPEG



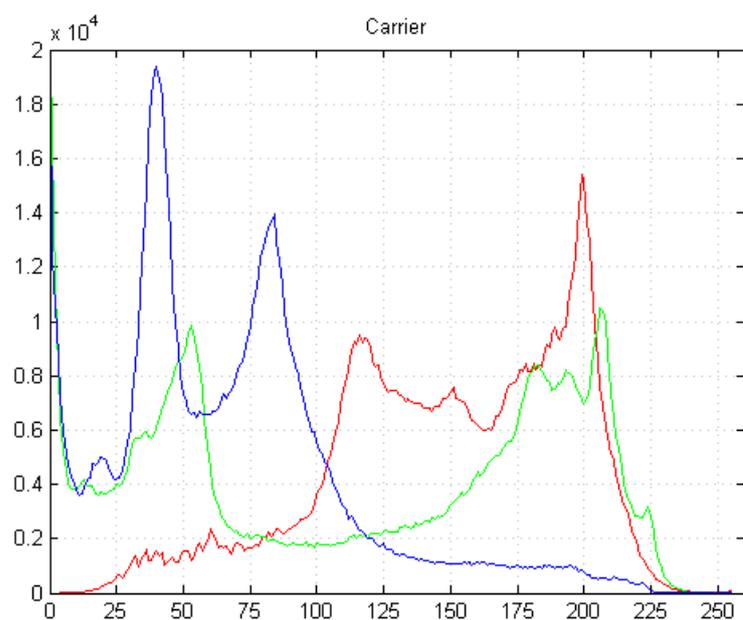
Fonte: Do Autor, 2015

Figura 39 - Histograma da imagem Lena para formato JPEG



Fonte: Do Autor, 2015

Figura 40 - Histograma da imagem Pepper para formato JPEG



Fonte: Do Autor, 2015

O Quadro 23 mostra os histogramas de cada técnica aplicada a cada imagem de cobertura e marca d'água, para o formato JPEG.