Avaliação de scanners de vulnerabilidades de aplicações Web (Versão Estendida)

Isadora Garcia Ferrão¹, Felipe Homrich Melchior¹, Guilherme Neri ¹, Rafael Fernandes ¹, Diego Kreutz¹

¹Laboratório de Estudos Avançados (LEA) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

{isadoraferrao9, fehmel, guibnsa, faelsfernandes}@gmail.com, diegokreutz@unipampa.edu.br

Resumo. Sistemas Web vulneráveis colocam em risco a segurança de servidores e infraestruturas de computação. Máquinas comprometidas são recorrentemente utilizadas para atacar outros sistemas, sejam eles internos ou externos à rede. O objetivo deste trabalho é avaliar scanners de vulnerabilidades tradicionais, gratuitos, e SaaS (oferecidos como serviço). Os scanners são executados em um ambiente controlado contendo as dez vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas Web. Os resultados indicam que os scanners SaaS detectam mais vulnerabilidades que os tradicionais. Outro resultado, de certa forma inesperado, foi a constatação de que a maioria das ferramentas não detecta vulnerabilidades que deveriam detectar segundo a documentação disponível. A avaliação da eficácia de diferentes scanners de vulnerabilidades, em um ambiente controlado, ratifica o desafio de se escolher uma boa ferramenta e reforça a necessidade de múltiplos scanners para encontrar e diagnosticar defeitos em ambientes Web, diminuindo o risco de incidentes de segurança na rede através de servidores comprometidos.

1. Introdução

Ainda existem diferentes aspectos preocupantes com relação ao cenário atual dos sistemas *Web*, como:

- (a_1) baixa taxa de inclusão de testes de segurança no ciclo de vida do software [Felderer et al. 2016];
- (a₂) dificuldade de seleção de ferramentas de pentesting [Antunes and Vieira 2015, Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017];
- (a₃) baixa cobertura na detecção de vulnerabilidades por parte das principais ferramentas disponíveis no mercado [Dalalana Bertoglio and Zorzo 2017, Holik and Neradova 2017, Ferrao and Kreutz 2017];
- (a₄) necessidade de verificação manual para aumentar o nível de confiabilidade da análise e avaliar possíveis falsos positivos uma vez que as ferramentas de varredura não acompanham a evolução das tecnologias *Web* [Holik and Neradova 2017]; e
- (a₅) número crescente de ataques e incidentes de segurança, alguns envolvendo vulnerabilidades antigas e recorrentes em sistemas *Web* [Coelho et al. 2015, Holik and Neradova 2017, Symantec 2017].

Estudos empíricos mostram que, em alguns países, a porcentagem de aplicações Web vulneráveis é significativamente alta, podendo ficar próximo a casa dos 70% [Alam et al. 2015]. Um dos fatores que tem levado a este preocupante cenário é o acesso a informação por parte dos atacantes. Por exemplo, é interessante observar que postagens de segurança, cada vez mais frequentes, apresentam técnicas e passo-a-passos de como comprometer dezenas de servidores Web em poucos minutos [Konstantopoulos 2017].

Servidores *Web* comprometidos tem sido recorrentemente utilizados em diferentes tipos de ataques, como DoS a outros sistemas da rede interna ou externa [Goodin 2018, CID 2014]. De fato, estatísticas online mostram que milhares de servidores *Web* comprometidos tem sido utilizados em ataques de DDoS contra redes e serviços online. Como exemplo prático, nos últimos anos, a UNIPAMPA foi alvo de ataques cujo objetivo foi comprometer sistemas *Web* e utilizar os respectivos servidores em ataques a outras redes e sistemas, como foi o caso de um ataque de DoS contra a rede do gabinete da presidência da república. Um outro exemplo de ataque resultante do comprometimento de servidores *Web* é a quebra de confidencialidade dos dados de usuários. Pesquisas recentes mostram que ainda é um desafio garantir a segurança, em particular a confidencialidade dos dados, de aplicações cliente-servidor contra servidores comprometidos e ativamente maliciosos [Grubbs et al. 2016]. Estes exemplos deixam claro a importância de investigar constantemente as vulnerabilidades de sistemas *Web* a fim de evitar subsequentes incidentes de segurança em rede locais e externas.

No que diz respeito às vulnerabilidades dos sistemas *Web*, um dos aspectos mais preocupantes é o fato de, apesar da evolução das linguagens de programação, frameworks e outras tecnologias utilizadas no desenvolvimento de sistemas *Web*, o número de incidentes de segurança e vulnerabilidades antigas (exemplos: *SQL injection* e *cross site scripting*) detectadas nesses sistemas ainda é alto [Sudhodanan et al. 2016, Fonseca et al. 2014, Symantec 2017, Gupta et al. 2014, Coelho et al. 2015]. As ferramentas mais utilizadas para detectar vulnerabilidades em sistemas *Web* são os conhecidos *scanners* de vulnerabilidades [Bau et al. 2010, Dalalana Bertoglio and Zorzo 2017].

Em uma pesquisa recente, foram estudados e analisados os dez principais *scanners* de vulnerabilidades gratuitos [Ferrao and Kreutz 2017]. Como ambiente de avaliação, os pesquisadores utilizaram uma máquina virtual da OWASP conhecida como BWA. Os resultados da pesquisa destacaram a eficácia, em termos de número de vulnerabilidades detectadas, dos *scanners* Zed Attack Proxy e Paros Proxy.

O maior desafio do trabalho [Ferrao and Kreutz 2017] foi comparar os *scanners* de vulnerabilidades em pé de igualdade levando em conta um cenário com um número muito grande de vulnerabilidades desconhecidas. Isto por que a máquina virtual BWA contém um ambiente complexo, composto por dezenas de aplicações vulneráveis, criado especificamente para a formação de especialistas em segurança de sistemas. Na prática, é inviável tentar enumerar as vulnerabilidades existentes nas centenas de milhares de linhas de código (em diferentes linguagens de programação) das aplicações *Web* da BWA.

Adotando uma abordagem diferente e complementar, neste trabalho é proposto um ambiente controlado, onde são implementadas as dez vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web* segundo a classificação tri-anual da OWASP de 2017 [OWASP 2017]. O

ambiente controlado, além de criar um cenário conhecido para a avaliação das ferramentas, algo utilizado na prática por trabalhos similares [Vieira et al. 2009, Bau et al. 2010, Doupé et al. 2012], torna possível investigar outras coisas, como falsos positivos.

Em resumo, o objetivo deste trabalho é avaliar as principais ferramentas de varredura de vulnerabilidades tradicionais, gratuitas, e os *scanners* disponíveis no mercado como *software-as-a-service* (*SaaS*), utilizando um cenário controlado, dando um passo além (em relação a trabalhos existentes na literatura) na investigação da eficácia dessas ferramentas. As principais contribuições do trabalho podem ser resumidas em:

- (c_1) criação do ambiente controlado (uma máquina virtual Linux contendo a implementação das 10 vulnerabilidades mais recorrentes em aplicações Web);
- (c_2) execução e avaliação das 10 principais ferramentas gratuitas de varredura de vulnerabilidades:
- (c_3) execução e avaliação de 5 dos *scanners SaaS* de vulnerabilidades mais populares do mercado:
- (c_4) comparação de eficácia de cobertura entre scanners tradicionais e SaaS;
- (c_5) identificação de falhas de cobertura (vulnerabilidades críticas não detectadas) nos resultados dos *scanners*; e
- (c_6) identificação de inconsistências entre os manuais (documentação técnica) das ferramentas e os resultados na prática.

O restante do paper texto está organizado como segue. A Seção 2 detalha as etapas de desenvolvimento do trabalho. Os resultados são discutidos na Seção 3. A Seção 5 é dedicada aos trabalhos relacionados. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Desenvolvimento

Esta seção descreve as cinco etapas do desenvolvimento e apresentada, também, alguns detalhes técnicos do ambiente controlado.

2.1. Etapas

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em cinco etapas bem definidas. A **primeira etapa** consistiu na escolha, instalação e estudo das ferramentas de varredura de vulnerabildiades, que foram separadas em dois grupos, os *scanners* tradicionais e os *SaaS*. No primeiro grupo, seguindo a mesma linha do trabalho anterior [Ferrao and Kreutz 2017], foram escolhidos os *scanners* Andiparos, Nessus, Raproxy, Uniscan, Wapiti, Grabber, Paros Proxy, Skipfish, Vega e Zed Attack proxy. Estas são as ferramentas mais bem classificadas em máquinas de busca e sites de segurança especializados [Hacker 2017, Terminal Root 2017].

Para formar o segundo grupo, foram selecionados os *scanners SaaS* Acunetix, Detectify, Qualys, Tinfoil e ScanMyServer. A seleção foi realizada através de buscas nos sites do OWASP, da Geek Flare e na máquina de busca da Google. Num primeiro momento, foram selecionadas os 10 *scanners* que estavam entre os melhores nos respectivos rankings dos sites. Como o segundo critério de seleção foi a disponibilidade de uma versão completa do *scanner* para testes, a lista ficou reduzida aos 5 *scanners SaaS* mencionados anteriormente. Vale ressaltar que ferramentas como o Acunetix, Qualys e Nessus estão entre as mais utilizadas na prática segundo estudos recentes [Dalalana Bertoglio and Zorzo 2017].

A seleção das vulnerabilidades a serem implementadas e analisadas no cenário controlado foi realizada na **segunda etapa** da pesquisa. O parâmetro de seleção das vulnerabilidades foi o índice de recorrência ao longo do tempo. Segundo a OWASP, organização internacional que monitora vulnerabilidades em sistemas *Web*, as mais recorrentes, conforme a classificação tri-anual de 2017, são falhas pertencentes às seguintes categorias:

- (f_1) injeção de código;
- (f_2) quebra de autenticação e gerenciamento de sessão;
- (f_3) cross-site scripting (XSS);
- (f_4) quebra de controle de acesso;
- (f_5) má configuração de segurança;
- (f_6) exposição de dados sensíveis;
- (f_7) falta de proteção contra ataques;
- (f_8) cross-site request forgery (CSRF);
- (f_9) uso de componentes com vulnerabilidades conhecidas e APIs desprotegidas.

A **terceira etapa** foi constituída pelo projeto e implementação de um cenário controlado contendo uma vulnerabilidade catalogada em cada uma das 10 categorias relacionadas na etapa anterior. O cenário controlado foi criado a partir da distribuição Kali Linux (versão 4.9.0), servidor MySQL (versão 5.7) e servidor *Web* Apache (versão 2.4.18). O Kali Linux foi escolhido pelo fato de já possuir a maioria das ferramentas instaladas no sistema e ser voltado para testes de segurança. As vulnerabilidades foram implementadas na linguagem de programação PHP (versão 7.0). Enquanto os *scanners* foram instalados no sistema hospedeiro Kali Linux, o cenário controlado foi instalado em uma máquina virtual utilizando o VirtualBox (versão 5.2.18).

Para a implementação das 10 vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web*, foram criados dois formulários. O primeiro para o acesso ao sistema (login) e segundo para o cadastro de usuários. Estes formulários foram escolhidos por estarem presentes na maioria dos sistemas *Web*. Ambos os formulários possuem os campos login/nome e senha. Na sequência, na **quarta etapa** foram executados os *scanners* de vulnerabilidades sobre o ambiente controlado. O tipo mais comum de testes para sistemas *Web*, empregado na prática pela maioria dos atacantes, é o *black-box*, também utilizado neste trabalho.

Os testes práticos dos *scanners* tradicionais foram realizadas em uma máquina Dell Inspiron Special Edition, Intel core i7, memória de 16 GB e 1 TB de HD + 8 GB de SSD. No caso dos scanners *SaaS*, para disponibilizar o servidor na Internet, foi utilizada uma máquina virtual KVM, com endereço IP público, numa máquina física com processador Intel(R) Core 2 Q6600 2.40GHz, 8GB de memória RAM, e disco rígido SATA de 300GB.

Diferentemente das ferramentas tradicionais, para utilizar os *scanners SaaS*, oferecidos como serviços por empresas terceiras, foram necessárias validações de propriedade do domínio (endereço IP) e sistema *Web*. Uma das formas mais comuns de realizar este tipo de validação é através de arquivos específicos, gerados pelo provedor das ferramentas online, que são colocados no servidor *Web* para certificar de que o proprietário ou responsável pelo sistema *Web* está, de fato, ciente e de acordo com a execução *scanners*.

Finalmente, na **quinta etapa** foram analisados os relatórios gerados pelos *scanners* na etapa anterior. Cada ferramenta gera um relatório de saída específico, num formato próprio, contendo as especificações das vulnerabilidades encontradas, como informações básicas sobre as falhas, o nível de criticidade e outras informações como formas de exploração, como corrigir e onde encontrar as vulnerabilidades. Portanto, na fase de análise foram inspecionados todos os detalhes técnicos dos relatórios de saída e, no final, foi gerada uma síntese por *scanner*.

2.2. O Cenário Controlado

No cenário controlado, para a implementação das 10 vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web*, foram criados dois formulários *Web*, utilizando a linguagem de programação PHP. O primeiro para o acesso ao sistema (login) e segundo para o cadastro de usuários. Estes formulários foram escolhidos por estarem presentes na maioria dos sistemas *Web*. Ambos os formulários possuem os campos login/nome e senha.

Os códigos PHP utilizados pelos formulários implementados permitem a passagem de variáveis como parâmetro de uma página para outra, o que é uma prática comum. A seguir, são apresentados dois exemplos de como um atacante pode explorar esse recurso do sistema para realizar ataques de *cross-site scripting* e quebras de controle de acesso.

Através de uma vulnerabilidade de *cross-site scripting*, o atacante pode usar página PHP para desconfigurar páginas, redirecionar usuários para sites que contenham vulnerabilidades e roubar sessões ativas de usuários. Um exemplo de exploração desta vulnerabilidade no cenário controlado implementado é a através da inserção de um comando HTML. Por exemplo, a URL http://localhost/Vulnerabilidades/logado.php?nome=<ahref="https://www.site-do-atacante.com/">Cliqueaqui!</br/>
vai criar um link para o site do atacante. Quando o atacante enviar essa URL do sistema para a vítima, ela vai visualizar a URL modificada como parte da página do sistema.

Outro exemplo são as quebras de controle de acesso. No caso, o cenário controlado não verifica se o usuário está (ou não) autenticado no sistema. A vulnerabilidade implementada permite a um atacante utilizar um *script* de força bruta para conseguir acesso ao sistema. Na prática, utilizando a URL http://localhost/Vulnerabilidades/logado.php?nome=usuarioValido, o atacante poderá quebrar o controle de acesso do sistema. Para isso, basta descobrir um nome de usuário válido.

Vale ressaltar que boa parte das ferramentas detectou a vulnerabilidade *cross-site scripting*. Por outro lado, nenhum *scanner* detectou a vulnerabilidade de controle de acesso, como discutido na Seção 3.

3. Resultados

A Tabela 1 sumariza os principais resultados obtidos com os testes *black-box* no cenário controlado. As 10 ferramentas tradicionais são identificadas pelos seguintes índices: [T1] Andiparos, [T2] Nessus, [T3] Raproxy, [T4] Uniscan, [T5] Wapiti, [T6] Grabber, [T7] Paros Proxy, [T8] Skipfish, [T9] Vega e [T10] Zed Attack proxy. Já os 5 *scanners SaaS* estão identificados por [S1] Acunetix, [S2] Detectify, [S3] Qualys, [S4] Tinfoil e [S5] ScanMyServer.

O conjunto dos 15 scanners conseguiu detectar apenas 80% das 10 categorias mais recorrentes de vulnerabilidades em sistemas Web. Ainda mais surpreendente é o fato de

as ferramentas tradicionais terem detectado somente 50% das vulnerabilidades. Apesar de os *scanners SaaS* atingirem um índice de detecção maior, chegando a detectar 70% das vulnerabilidades, os resultados são igualmente preocupantes. Pode-se afirmar que estes números corroboram com resultados de pesquisa anteriores, que indicam a dificuldade na escolha das ferramentas mais adequadas e eficazes e falhas de cobertura dos *scanners* tradicionais [Antunes and Vieira 2015, Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017].

Tabela 1. Vulnerabilidades detectadas no cenário controlado

Vulnerabilidade	scanners tradicionais	scanners SaaS
Injeção de Código	[T4, T8]	[S1, S2, S4, S5]
Quebra de autenticação e gerenciamento de sessão	0	[S4]
Cross site scripting	[T1,T2,T6,T8,T9,T10]	[S1, S5]
Quebra de controle de acesso	0	
Má configuração de segurança	[T1,T4,T7,T8,T9,T10]	[S1, S2, S3, S4, S5]
Exposição de dados sensíveis	[T1, T2, T8, T9, T10]	[S1, S2, S3]
Falta de proteção contra ataques	[]	[S1, S2, S5]
Cross site requesty forgery (CSRF)	0	[S2, S4]
Componentes com vulnerabilidades conhecidas	[T2]	
APIs desprotegidas	0	

Nenhum dos *scanners* detectou quebra de controle de acesso e APIs desprotegidas. A falha de APIs desprotegidas é uma das mais recentes a entrar no ranking das vulnerabilidades mais recorrentes da OWASP. Esta é uma das principais razões pela qual os *scanners* falham na detecção, ou seja, as ferramentas de varredura ainda não oferecem plugins ou recursos para detectar APIs desprotegidas. As vulnerabilidades em APIs desprotegidas podem facilitar o acesso e a manipulação não autorizada de dados sensíveis, possibilitar a desconfiguração de páginas do site ou até mesmo permitir ao atacante comprometer o sistema. No cenário controlado, as chaves da API Javascript do Google Maps foram incorporadas diretamente no código, ou seja, elas são expostas ao público. Para corrigir esta falha a chave de API deveria ter sido armazenada em variáveis de ambiente ou em arquivos fora da árvore de origem do sistema.

A vulnerabilidade de quebra de controle de acesso concede ao atacante acesso a dados restritos. No cenário controlado implementado, não é verificado da maneira correta se o usuário está (ou não) autenticado no sistema. Logo, a vulnerabilidade permite ao atacante utilizar um *script* de força bruta para conseguir acesso ao sistemas. Para quebrar o controle do acesso, basta descobrir o nome de um usuário válido. A prevenção contra esta falha requer uma verificação dos acessos ao sistema. Para cada painel do sistema, deve-se incluir uma verificação de controle de acesso para garantir que o usuário esteja

autorizado a ter acesso ao recurso solicitado.

As ferramentas [T3] Ratproxy e [T5] Wapiti não detectaram nenhuma vulnerabilidade apesar do fato de assegurarem detectar vulnerabilidades como *cross-site scripting* e *SQL injection*. Isto significa que não é possível confiar-se na documentação das ferramentas, conforme é constatado em uma análise mais detalhada, apresentada a seguir, cujo resumo está disponível na Tabela 2.

No caso do primeiro grupo, o Skipfish detectou 80% das categorias de vulnerabilidades identificadas pelas ferramentas tradicionais. Em segundo lugar, o Nessus detectou 60% das vulnerabilidades. Estranhamente, em uma pesquisa recente, utilizando o ambiente não controlado da BWA, os *scanners* que se destacaram foram o Zed Attack Proxy e Paros Proxy [Ferrao and Kreutz 2017]. Isto nos leva a concluir que o cenário atual é mais complicado e crítico do que o imaginado, ou seja, a escolha dos *scanners* depende, também, do cenário em questão. De fato, observando trabalhos recentes e o estado da arte, como pergunta de pesquisa, para investigação futura, podem ser listadas perguntas como: *Qual(is) scanner (s) de vulnerabilidades é(são) mais eficaz(es) para um determinado contexto?*

Vale ressaltar que o Nessus foi o único *scanner* a detectar a vulnerabilidade de componentes com vulnerabilidades conhecidas. Este *scanner* possui mais de 2.600 plugins para detectar vulnerabilidades conhecidas em aplicativos da *Web*. Esses plugins são escritos para enumerar e detectar vulnerabilidades que foram publicamente relatadas em algum produto da *Web*, seja ele de código aberto ou comercial. No cenário controlado implementado neste trabalho, foi utilizado o XAMPP 2.4.27, cuja versão possui vulnerabilidades de injeção de código, permitindo aos atacantes executarem comandos SQL arbitrários através de vetores em *scripts* de testes. No caso em particular, diferentemente dos outros *scanners*, o Nessus possui um plugin que permite a detecção desta vulnerabilidade.

No grupo dos *scanners SaaS*, pode-se observar que as categorias com maior nível de cobertura são injeção de código e má configuração de segurança. Além disso, a maior eficácia ficou com o Detectify e o Acunetix. Ambos os *scanners* detectaram 50% das categorias de vulnerabilidades. Entretanto, enquanto que o Detectify detectou apenas 40% das falhas críticas existentes no ambiente controlado, o Acunetix detectou 60%. Em resumo, pode-se dizer que este último é mais eficaz (em ambientes *Web* similares ao utilizado neste trabalho) uma vez que detecta uma maior porcentagem de vulnerabilidades críticas, que podem facilmente levar a incidentes de segurança graves.

A Tabela 2 relaciona as vulnerabilidades e os *scanners* que prometem detectá-las, mas, de fato, não as detectam. Para realizar esta análise, foram atentamente analisados os manuais e a documentação técnica das ferramentas. Surpreendentemente, várias ferramentas não detectaram algumas das vulnerabilidades que deveriam detectar segundo a sua própria documentação. Vale ressaltar que foram utilizadas as formas mais básicas de implementação das vulnerabilidades *Web* no cenário controlado.

Como pode ainda ser observado na tabela, não há nenhum *scanner SaaS* na relação. Isto deve-se ao ao fato de serem serviços online e/ou comerciais e não relacionarem em sua documentação pública as vulnerabilidades que eles se propõe a detectar.

Um dos casos investigados, em um nível técnico mais granular, foi o scanner [T6]

Tabela 2. Falhas na detecção de vulnerabilidades.

Vulnerabilidades	scanners que falharam em detectar	
Injeção de Código	[T1,T3,T5,T6,T7,T9]	
Cross site scripting	[T3,T4,T5,T7]	
Quebra de controle de acesso	[T8]	
Má configuração de segurança	[T2,T3,T5,T6]	

Grabber, cuja documentação assegura detectar *SQL injection*. O Grabber possui interface por linha de comando e foi desenvolvido na linguagem de programação Python. Para a vulnerabilidade de *SQL injection*, ele possui uma lista com alguns casos de testes de injeção de código. Esta lista é denominada sqlAttacks. Porém, o caso implementado no ambiente controlado, que é um dos ataques SQL mais simples e comuns (exemplo: "OR 1=1; #"), não consta na lista de testes da ferramenta. Além disso, a quantidade de testes de injeção SQL do Grabber é muito limitada, restringindo-se a apenas 7 testes distintos.

Alguns *scanners* detectaram vulnerabilidades específicas, que são falsospositivos, como *File inclusion* [T8, T10], *Signature match detected* [T8], *Incorrect caching directives* [T8], *File upload form* [T8] e *Lotus domino default files* [T1,T7]. A identificação dos falsos-positivos foi realizada através da verificação dos relatórios de saída de cada ferramenta e consequente análise manual da suposta vulnerabilidade relatada pelo *scanner*.

No grupo das ferramentas tradicionais, o Skipfish foi responsável por reportar a maior quantidade de falsos-positivos. Ironicamente, o Skipfish é, também, o *scanner* que mais detectou vulnerabilidades no ambiente controlado. Já no segundo grupo, houve apenas um único caso de falso-positivo, a vulnerabilidade *Trace Method is Enabled* [S1, S5]. Como os falsos-positivos representam trabalho de verificação, geralmente manual, das supostas falhas dos sistemas, fica evidente que ainda há espaço para investigação e desenvolvimento.

Os resultados apresentados apontam para um cenário preocupante no ecossistema Web. Pelos resultados anteriores (utilizado o ambiente BWA [Ferrao and Kreutz 2017]) e os deste trabalho, pode-se concluir que todos os scanners de vulnerabilidades precisam claramente melhorar em termos de eficácia de detecção de vulnerabilidades. Isto fica ainda mais evidente na Tabela 2, onde são relacionadas as vulnerabilidades que os scanners prometem detectar, mas, de fato, não detectam ou detectam de forma muito limitada (exemplo: em casos muito específicos de ocorrência da vulnerabilidade). Em outras palavras, o usuário não pode nem mesmo confiar na documentação técnica dos scanners.

4. Discussão

Um dos objetivos do trabalho foi, também, responder a questões mais especificas, como as duas apresentadas a seguir.

Se um scanner S1 detecta a vulnerabilidade V1 (e.g. XSS) no ambiente controlado A1, isto

significa que ele irá detectar a mesma vulnerabilidade, implementada da mesma forma, em um outro ambiente A2 qualquer? A resposta curta é não necessariamente. A detecção vai depender de diferentes fatores, como os mecanismos de segurança empregados no ambiente A2. Por exemplo, suponhamos que no cenário A2 o sistema seja implementado com a linguagem PHP, mas sem a utilização de recursos extras como APIs ou frameworks. Já no ambiente A2, o sistema Web, contendo também a vulnerabilidade V1, foi codificado utilizando um framework F1 (e.g. Codeigniter). Neste caso, se o método xss clean (método utilizado para tratamento dos dados contra ataques XSS) do framework F1 estiver habilitado, o scanner S1 dificilmente conseguirá detectar a vulnerabilidade V1 no cenário A2.

Se um scanner S2 detecta a vulnerabilidade V2 (e.g. SQL Injection) no sistema Web W1, então ele irão detectar esta mesma vulnerabilidade presente em um outro sistema Web W2 qualquer? Novamente, a resposta curta é não necessariamente. Uma vulnerabilidade V2, SQL Injection, possui várias assinaturas (ou casos de teste). Portanto, o scanner S2 vai detectar V2 em um outro sistema Web W2 somente se ele estiver programado para reconhecer todas as assinaturas de V2, ou, neste caso, as assinaturas de V2 presentes em W1 e W2. Na prática, algumas ferramentas, como o scanner Grabber, detectam apenas um sub-conjunto das assinaturas de SQL injection. Como consequência, ele pode detectar a vulnerabilidade em W1 mas não em W2, por exemplo.

5. Trabalho Relacionados

Existem diferentes estudos que analisam e/ou comparam scanners de vulnerabilidades dos mais variados tipos [Palsetia et al. 2016, Gupta and Gupta 2015, Antunes and Vieira 2015, Makino and Klyuev 2015, Holik and Neradova 2017, Zhou and Evans 2014, Ferrao and Kreutz 2017, Pellegrino and Balzarotti 2014, Nagpal et al. 2015, Doupé et al. 2012, Rocha et al. 2012, Bau et al. 2010, Doupé et al. 2010, Vieira et al. 2009. Fong et al. 2008, Fonseca et al. 2007. Ben Jaballah and Kheir 2016]. Entretanto, a maioria destas pesquisas analisa ferramentas comerciais, ou um sub-conjunto muito limitado de ferramentas gratuitas (exemplo: apenas duas ferramentas), ou são consideravelmente desatualizadas, ou investigam ferramentas específicas que detectam um único tipo ou pequenos sub-grupos de vulnerabilidades em sistemas Web. Além disso, existem também alguns trabalhos que investigam soluções híbridas, ou grey-box, que buscam tirar proveito dos aspectos positivos das duas abordagens mais comumentemente utilizadas, a black-box (utilizada neste trabalho) e a white-box [Ben Jaballah and Kheir 2016]. Em resumo, isto significa que não há estudos recentes, mais abrangentes, que cobrem um número maior de ferramentas livres e abertas. Além disso, a literatura existente deixa a desejar no que tange aos scanners SaaS.

Estudos demonstram também que há uma significativa disparidade entre as ferramentas existentes em termos de abrangência e níveis de exploração das vulnerabilidades [Rocha et al. 2012, Doupé et al. 2010, Vieira et al. 2009, Ferrao and Kreutz 2017, Makino and Klyuev 2015, Holik and Neradova 2017]. Os resultados apresentados na literatura indicam claramente a necessidade de não apenas uma única ferramenta, mas sim um conjunto de *scanners* para garantir uma boa cobertura na detecção de vulnerabilidades de sistemas *Web*. Além disso, de forma recorrente, os estudos apontam a necessidade de evolução e avaliação empírica constante desse tipo de ferramenta.

O tipo de testes mais aplicado para scanners de vulnerabilidades é o black-box [Holik and Neradova 2017, Makino and Klyuev 2015, Rocha et al. 2012, Doupé et al. 2010, Bau et al. 2010], também utilizado neste trabalho. tes black-box são realizados de forma automatizada e sem acesso direto a detalhes de infraestrutura e codificação do sistema alvo. Para avaliar os scanners, os estudos utilizam essencialmente um de três tipos de ambientes, OWASP BWA [Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017], sites oficiais de instituições governamentais e/ou privadas [Bau et al. 2010, Rocha et al. 2012, Vieira et al. 2009] contendo vulnerabilidades implementadas especificae cenários controlados (i.e. mente para os testes) [Holik and Neradova 2017, Doupé et al. 2010, Rocha et al. 2012, Bau et al. 2010, Fong et al. 2008]. A maioria dos trabalhos utiliza um cenário controlado por que ele, como o próprio nome sugere, permite uma análise mais minuciosa e precisa dos scanners de vulnerabilidades. Além disso, os cenários controlados tornam mais prático e efetiva a detecção de falsos-positivos, ou seja, identificar o que é detectado como vulnerabilidade pelo scanner mas na verdade não oferece perigo.

Os trabalhos similares que utilizam ambientes controlados seguem uma metodologia similar à deste trabalho. Tudo inicia com a escolha das vulnerabilidades a serem implementadas, seguido da definição do ambiente de testes e análises manuais das vulnerabilidades implementadas e dos relatórios de saída dos *scanners* [Fonseca et al. 2007, Fonseca et al. 2014]. Porém, a grande maioria dos trabalhos foca nas falhas de injeção de código e *cross-site scripting*. Este trabalho, além de implementar estas duas vulnerabilidades, implementa e avaliar mais oito falhas presentes na lista das dez mais recorrentes em sistemas *Web* segundo a OWASP [OWASP 2017].

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre alguns dos principais trabalhos citados anteriormente. Para facilitar a representação na tabela,os papers foram enumerados da seguinte forma: [P1] [Doupé et al. 2012], [P2] [Rocha et al. 2012], [P3] [Bau et al. 2010], [P4] [Doupé et al. 2010], [P5] [Vieira et al. 2009], [P6] [Fong et al. 2008], [P7] [Fonseca et al. 2007], [P8] [Zhou and Evans 2014], [P9] [Makino and Klyuev 2015], [P10] [Dalalana Bertoglio and Zorzo 2017], [P11] [Holik and Neradova 2017] e [12] (este trabalho).

[P3] [**P4**] [**P8**] [**P9**] [P10] [P1] [P2] [P5] [P6] [P7] [P11] [P12] X **C1** X X X X X X X X X X X **C2** X X X X **C3** X X **C4** X **C5** X

Tabela 3. Comparativo entre os trabalhos

Cinco características foram selecionadas para comparar os trabalhos. A **taxa de falsos-positivos** (C1) indica se o trabalho avalia (ou não) a taxa de falsos-positivos detectados pelos *scanners*. A característica C2 é utilizada para identificar os trabalhos que

consideram e avaliam ferramentas gratuitas e de código aberto. As vulnerabilidades específicas (C3) servem para indicar se o trabalho analisa apenas uma única (ou um conjunto restrito) vulnerabilidade. Na sequência, a característica C4 tem por objetivo identificar os trabalhos que levam em consideração e analisam scanners SaaS, ou seja, scanners oferecidos por empresas como um serviço online sob-demanda. Finalmente, a característica C5 (documentação versus prática) indica se o trabalho leva em consideração a documentação (teoria) e os resultados empíricos dos scanners investigados. Como exemplo, se uma ferramenta promete detectar a vulnerabilidade X, ela deve, de fato, detectar essa vulnerabilidade na prática.

Com relação à apresentação das taxas de falsos-positivos (C1), pode ser observado que apenas um trabalho não contempla esta característica. No caso de ferramentas gratuitas e de código aberto (C2), apenas cinco trabalhos (P2,P9,P10,P11,P12) contemplam este quesito. Entretando, vale ressaltar que este trabalho cobre uma quantidade substancialmente maior das principais de ferramentas gratuitas quando comparado com os demais trabalhos.

Observando a Tabela 3, pode-se verificar que este trabalho é o único que avalia *scanners SaaS* e investiga a documentação das ferramentas com o objetivo de verificar se elas cumprem o que prometem. Como um adendo, vale citar que os *scanners SaaS* definem seu escopo de abrangência de forma rasa e sem muitos detalhes, dificultando a comparação com as ferramentas tradicionais neste quesito (ver Seção 3).

Finalmente, cabe destacar algumas das questões que os pesquisadores frequentemente procuram responder em estudos de ferramentas de varredura de vulnerabilidades. (1) Qual a cobertura dos *scanners* de vulnerabilidades quando usados na prática em sistemas *Web*?, (2) Qual a taxa de falsos-positivos?, (3) Quais são os tipos mais comuns de vulnerabilidades em ambientes *Web*? e (4) Quais vulnerabilidades são as mais detectadas pelas ferramentas? Neste trabalho são respondidas estas questões para dois grupos de *scanners* de vulnerabilidades disponíveis no mercado e utilizados na prática, ferramentas tradicionais gratuitas e abertas e *scanners SaaS*. Para responder às questões, foi implementado e utilizado um ambiente controlado, como detalhado na Seção 2.

6. Considerações Finais

A avaliação da eficácia de diferentes *scanners* de vulnerabilidades, em um ambiente controlado, reforça a necessidade de se utilizar múltiplas ferramentas para encontrar e corrigir defeitos em sistemas *Web*. Além disso, surpreendentemente, os *scanners* tradicionais detectaram apenas 50% das 10 vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web*. Já os *scanners SaaS* foram um pouco mais eficazes, detectando 70% das vulnerabilidades. Entretanto, de uma maneira geral, estes resultados indicam que os *scanners* investigados, tanto tradicionais quanto *SaaS*, ainda carecem de pesquisa e desenvolvimento.

Outro resultado surpreendente da pesquisa é o fato de alguns *scanners* não detectarem algumas das vulnerabilidades que deveriam detectar segundo seus respectivos manuais e documentação técnica. A exemplo, *SQL injection*, que é uma das vulnerabilidades mais frequentes e recorrentes em sistemas *Web*, foi a vulnerabilidade onde os *scanners* mais falharam em detectar.

Apesar de existirem trabalhos que investigam vulnerabilidades mais específicas,

como *XQuery injection* [Palsetia et al. 2016], a maioria dos *scanners* disponíveis no mercado não cobre este tipo de vulnerabilidade.

Finalmente, trabalho futuros podem tentar responder a questões como as relacionadas a seguir. Qual o impacto de frameworks *Web* no controle de vulnerabilidades? Qual é a eficácia dos *Web Application Firewalls* na proteção de sistemas *Web*? É possível atingir-se uma cobertura de 100% utilizando um único serviço *SaaS* de varredura de vulnerabilidades? Múltiplos *scanners* tradicionais podem ser, com sucesso e eficácia, combinados em uma única plataforma *SaaS* online? Como garantir a segurança (e.g. confidencialidade dos dados) de aplicações *Web* (modelo cliente-servidor) contra servidores ativamente maliciosos?

Referências

- Alam, D., Kabir, M. A., Bhuiyan, T., and Farah, T. (2015). A case study of sql injection vulnerabilities assessment of .bd domain web applications. In 2015 Fourth International Conference on Cyber Security, Cyber Warfare, and Digital Forensic (CyberSec), pages 73–77.
- Antunes, N. and Vieira, M. (2015). Assessing and comparing vulnerability detection tools for web services: Benchmarking approach and examples. *IEEE Transactions on Services Computing*, 8(2):269–283.
- Bau, J., Bursztein, E., Gupta, D., and Mitchell, J. (2010). State of the art: Automated black-box web application vulnerability testing. In *IEEE SSP*.
- Ben Jaballah, W. and Kheir, N. (2016). A grey-box approach for detecting malicious user interactions in web applications. In *Proceedings of the 8th ACM CCS International Workshop on Managing Insider Security Threats*, MIST '16, pages 1–12, New York, NY, USA. ACM.
- CID, D. (2014). Anatomy of 2,000 compromised web servers used in ddos attack. https://blog.sucuri.net/2014/09/anatomy-of-2000-compromised-web-servers-used-in-ddos-attack.html.
- Coelho, M. S., Tomasi, L. A., Idalino, T. B., and Martina, J. E. (2015). Identificando vulnerabilidades de segurança em uma aplicação web. In *SBSeg/WTICG*.
- Dalalana Bertoglio, D. and Zorzo, A. F. (2017). Overview and open issues on penetration test. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 23(1):2.
- Doupé, A., Cavedon, L., Kruegel, C., and Vigna, G. (2012). Enemy of the state: A state-aware black-box web vulnerability scanner. In *USENIX Security Symposium*.
- Doupé, A., Cova, M., and Vigna, G. (2010). Why johnny can't pentest: An analysis of black-box web vulnerability scanners. In *International Conference on DIMVA*.
- Felderer, M., Büchler, M., Johns, M., Brucker, A. D., Breu, R., and Pretschner, A. (2016). Security testing: A survey. In Memon, A., editor, *41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, volume 101 of *Advances in Computers*. Elsevier.
- Ferrao, I. G. and Kreutz, D. (2017). Segurança na web: análise black-box de scanners de vulnerabilidades. In *Anais da 1a Escola Regional de Engenharia de*

- Software (ERES), pages 135-142. http://arxiv.kreutz.xyz/eres2017_seguranca_web.pdf.
- Fong, E., Gaucher, R., Okun, V., Black, P. E., and Dalci, E. (2008). Building a test suite for web application scanners. In *41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Fonseca, J., Seixas, N., Vieira, M., and Madeira, H. (2014). Analysis of field data on web security vulnerabilities. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 11(2):89–100.
- Fonseca, J., Vieira, M., and Madeira, H. (2007). Testing and comparing web vulnerability scanning tools for sql injection and xss attacks. In *13th PRDC*.
- Goodin, D. (2018). Drupalgeddon2 touches off arms race to mass-exploit powerful web servers. https://goo.gl/vVJhYq.
- Grubbs, P., McPherson, R., Naveed, M., Ristenpart, T., and Shmatikov, V. (2016). Breaking web applications built on top of encrypted data. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, CCS '16, pages 1353–1364, New York, NY, USA. ACM.
- Gupta, M. K., Govil, M. C., and Singh, G. (2014). Static analysis approaches to detect sql injection and cross site scripting vulnerabilities in web applications: A survey. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering* (*ICRAIE-2014*), pages 1–5.
- Gupta, S. and Gupta, B. B. (2015). Php-sensor: A prototype method to discover workflow violation and xss vulnerabilities in php web applications. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Computing Frontiers*, CF '15, pages 59:1–59:8, New York, NY, USA. ACM.
- Hacker, M. (2017). Ferramentas para scan de vulnerabilidades web. https://goo.gl/VNVcnP.
- Holik, F. and Neradova, S. (2017). Vulnerabilities of modern web applications. In *40th MIPRO*.
- Konstantopoulos, G. (2017). How i hacked 40 websites in 7 minutes. https://goo.gl/wZ79mv.
- Makino, Y. and Klyuev, V. (2015). Evaluation of web vulnerability scanners. In *IEEE 8th IDAACS*.
- Nagpal, B., Singh, N., Chauhan, N., and Panesar, A. (2015). Tool based implementation of sql injection for penetration testing. In *International Conference on Computing, Communication Automation*, pages 746–749.
- OWASP (2017). Top ten 2017 project. https://goo.gl/snkFmd.
- Palsetia, N., Deepa, G., Khan, F. A., Thilagam, P. S., and Pais, A. R. (2016). Securing native xml database-driven web applications from xquery injection vulnerabilities. *Journal of Systems and Software*, 122:93 109.
- Pellegrino, G. and Balzarotti, D. (2014). Toward black-box detection of logic flaws in web applications. In *USENIX NDSS*.

- Rocha, D., Kreutz, D., and Turchetti, R. (2012). A free and extensible tool to detect vulnerabilities in web systems. In 7th Iberian CISTI.
- Sudhodanan, A., Armando, A., Carbone, R., Compagna, L., et al. (2016). Attack patterns for black-box security testing of multi-party web applications. In *USENIX NDSS*.
- Symantec (2017). Internet security threat report. https://goo.gl/iuhLPX.
- Terminal Root (2017). 100 melhores ferramentas open source de segurança. https://goo.gl/9ksoXR.
- Vieira, M., Antunes, N., and Madeira, H. (2009). Using web security scanners to detect vulnerabilities in web services. In *IEEE/IFIP DSN*, pages 566–571.
- Zhou, Y. and Evans, D. (2014). SSOScan: Automated testing of web applications for single sign-on vulnerabilities. In *23rd USENIX Security Symposium*.