

# Avaliação Heurística de um Ambiente Virtual para Análise de Rotas de Execução de Software

Filipe Fernandes, Claudia Rodrigues e Cláudia Werner

COPPE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Caixa Postal 68.511 – CEP 21.945-970 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{ffernandes,susie,werner}@cos.ufrj.br

**Abstract.** *Dynamic analysis aims to examine the implementation of a software system. However, dealing with scalability due to the large amount of data has been a challenge in understanding and visualizing software. This paper presents a heuristic usability evaluation of a new alternative for dynamic analysis software through Virtual Reality. The study revealed that 63% of participants judged as positive the usability of the virtual environment that is under development. In addition, it was observed that participants, despite the difficulties of interaction, have increased their interest of exploring more information UML sequence diagram due to its 3D representation.*

**Resumo.** *Análise dinâmica tem como princípio examinar a execução de um sistema de software. Contudo, lidar com questões de escalabilidade devido ao grande volume de dados tem sido um desafio na compreensão e visualização de software. Este trabalho apresenta a avaliação heurística de usabilidade de uma nova alternativa na análise dinâmica de software por meio de Realidade Virtual. O estudo revelou que 63% dos participantes julgaram como positivo a usabilidade do ambiente virtual que está em desenvolvimento. Além disso, observou-se que os participantes, apesar das dificuldades de interação, aumentaram seu interesse de explorar mais informações do diagrama de sequência UML devido a sua representação em 3D.*

## 1. Introdução

A análise dinâmica é uma técnica tipicamente adotada para compreensão de software durante o processo de manutenção e evolução, pois fornece uma “imagem precisa” devido à captura de informações do comportamento corrente do sistema, conhecidas como rotas de execução. Estas rotas registram informações sobre a ordem temporal da troca de mensagens entre objetos, de acordo com um cenário ao qual se deseja investigar [Dit *et al.* 2013]. No entanto, visualizar informação dinâmica emerge como um problema de escalabilidade, devido ao grande volume de dados, podendo gerar sobrecarga cognitiva durante o processo de manutenção [Cornelissen *et al.* 2011].

Para lidar com esta questão de escalabilidade foram propostas abordagens para a redução de rotas de execução e metáforas visuais não tradicionais. No entanto, técnicas de redução podem omitir informações importantes durante o processo de compreensão, enquanto que visualizações não tradicionais podem adicionar mais sobrecarga cognitiva devido à dificuldade de relacionar as formas visuais com os dados da execução do software [Cornelissen *et al.* 2009]. Segundo Maletic *et al.* (2002), novos dispositivos de

visualização e interação, bem como novas representações, podem apoiar a compreensão de um grande volume de dados, tal como a utilização de Realidade Virtual (RV).

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar a avaliação heurística de usabilidade de um ambiente virtual para apoiar a análise e compreensão de rotas de execução de software, denominada VisAr3D-Dynamic. Por se tratar de uma nova alternativa de compreensão de software, usuários podem não estar familiarizados em manipular diagramas de sequência UML em 3D, bem como outros recursos do ambiente. Portanto, decidiu-se primeiramente identificar falhas de usabilidade e no futuro realizar um experimento controlado comparando a abordagem proposta com uma tradicional, sem problemas de usabilidade.

O restante do trabalho está organizado como segue: a Seção 2 apresenta o conceito de RV, bem como sua aplicação na área de visualização. A Seção 3 apresenta o ambiente virtual VisAr3D-Dynamic. A Seção 4 apresenta a avaliação heurística realizada e, por fim, a Seção 5 conclui o artigo.

## **2. Visualização de Dados em Realidade Virtual**

A RV é uma interface avançada para aplicações computacionais, onde o usuário pode navegar e interagir, em tempo real, em um ambiente tridimensional gerado por computador, usando dispositivos multissensoriais [Kirner e Tori 2004]. O usuário tem a impressão de estar atuando dentro destes ambientes virtuais em tempo real. Em virtude destas características, a RV tem sido utilizada por diversas áreas com aplicabilidades distintas, inclusive na visualização de dados complexos [Van Dam 2000].

Em visualização científica, usuários podem facilmente explorar e compreender estruturas naturalmente tridimensionais complexas por meio de uma experiência imersiva através de dispositivos multissensoriais, que possibilitam ao usuário, além de visualizar, ouvir, tocar e, até mesmo, sentir o odor e o paladar [Van Dam 2000]. Ao contrário da científica, a visualização de informação cria representações gráficas de um grande volume de dados abstratos gerados por simulações computacionais. Visualizações em RV proporcionam uma experiência imersiva na manipulação destes dados sob vários ângulos e posições, permitindo uma ampla exploração dos mesmos, inclusive de propriedades matemáticas intrínsecas [Kirner e Tori 2004].

## **3. VisAr3D-Dynamic**

Neste contexto de visualização de informação por meio de RV, está em desenvolvimento um ambiente virtual para análise de rotas de execução de sistemas de software de larga escala. A VisAr3D-Dynamic [Fernandes *et al.* 2015] estende a visão de comportamento da abordagem VisAr3D (Visualização da Arquitetura de Software em 3D) [Rodrigues e Werner 2016]. Esta abordagem propõe um ambiente de ensino-aprendizagem de modelos UML de sistemas complexos, no entanto, a visão de comportamento também pode ser aplicável à compreensão de programas, no contexto de manutenção e evolução de software.

O ambiente virtual proposto renderiza diagramas de sequência UML em 3D a partir de dados capturados durante a execução do software, persistidos no formato XMI. A fim de reduzir a sobrecarga cognitiva das rotas de execução foram implementadas funcionalidades, as quais serão brevemente descritas.

O diagrama de sequência 3D complexo (Figura 1) é exibido aos poucos através de uma animação onde o usuário pode acompanhar o seu funcionamento através de uma *Timeline*. A *Timeline* transmite a percepção temporal ao aplicar efeitos *fade-in* e *fade-out*, tanto em *lifelines* quanto em mensagens, conforme o acionamento do botão *Iniciar* ou pela interação através do *slider* (Figura 1(a)), possibilitando o avanço ou recuo da animação. Cores amarela e cinza também são utilizadas para indicar visualmente mensagens que uma determinada *lifeline* envia ou recebe, respectivamente.

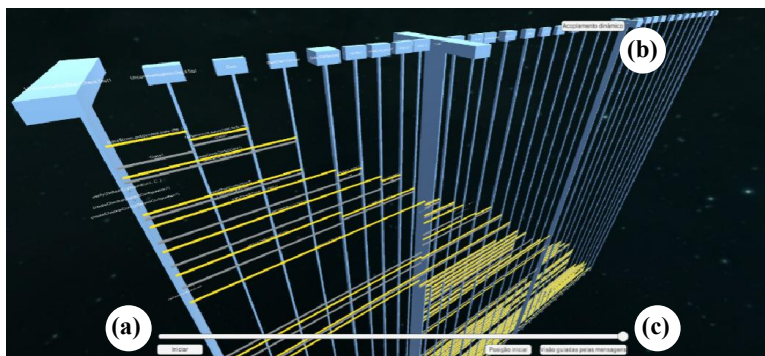


Figura 1. Diagrama de sequência UML 3D em perspectiva no VisAr3D-Dynamic

Quando a função de acoplamento dinâmico é acionada (Figura 1(b)), a forma geométrica em *z* de cada *lifeline* é alterada, ou seja, um valor é calculado e aplicado ao seu comprimento, utilizando a métrica EOC (*Export Object Coupling*) [Yacoubet *al.*2000]. E como forma de interagir com o ambiente, os seis graus de liberdade<sup>1</sup> foram disponibilizados através do teclado (A, S, W e D e pelas setas direcionais) e *mouse*, que também disponibiliza o recurso de *zoom*.

#### 4. Avaliação Heurística da VisAr3D-Dynamic

O propósito da pesquisa é desenvolver um ambiente virtual para apoiar a compreensão de rotas de execução de sistemas complexos. A fim de alcançar este objetivo, decidiu-se avaliar a usabilidade do ambiente com as funcionalidades descritas na Seção 3.

##### 4.1 Objetivo do Estudo

Seguindo a abordagem GQM–Goal/Question/Metric [Basili *et al.* 1994], o objetivo do estudo pode ser descrito conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Objetivo do estudo segundo a abordagem GQM

<b>Analisar</b>	a interação com um diagrama de sequência em 3D por meio de um ambiente virtual
<b>Com o propósito de</b>	caracterizar
<b>Com respeito às</b>	heurísticas de usabilidade
<b>Do ponto de vista dos</b>	pesquisadores
<b>No contexto de</b>	tarefas de compreensão de rotas de execução por alunos de graduação e de pós-graduação

<sup>1</sup> Graus de liberdade é o número de eixos de coordenadas que podem ser manipulados simultaneamente durante o processo interativo.

Na seção a seguir são apresentadas as heurísticas de usabilidade para ambientes virtuais adotadas neste trabalho.

#### 4.2. Avaliação Heurística para Ambientes Virtuais

A avaliação de projeto de interfaces tem por objetivo identificar, classificar e contar o número de problemas de usabilidade de um sistema computacional. Sutcliffe e Gault (2004) propuseram um conjunto de doze heurísticas, baseadas nas heurísticas de Nielsen (1994), a serem utilizadas com intuito de verificar os componentes disponíveis no ambiente virtual (Tabela 2).

**Tabela 2. Heurísticas de usabilidade [Sutcliffe e Gault 2004]**

Identificação	Descrição
H1	<i>Engajamento Natural</i> : a interação deve atender a expectativa do usuário em relação ao mundo real ou um conhecimento prévio. Idealmente, o usuário deve ter consciência de que a realidade é virtual. Essa heurística dependerá da exigência de naturalidade e sensação de presença e engajamento do usuário.
H2	<i>Compatível com as tarefas do usuário e do domínio</i> : o ambiente virtual e o comportamento dos objetos devem corresponder à expectativa do usuário em relação aos objetos do mundo real, seu comportamento e <i>affordances</i> <sup>2</sup> .
H3	<i>Expressão natural da ação</i> : a representação de presença no ambiente virtual deve permitir ao usuário agir e explorar de uma maneira mais natural e implementar leis básicas da física. Esta heurística pode ser limitada pelos dispositivos disponíveis.
H4	<i>Representação e coordenação da ação</i> : a representação de presença e comportamento no ambiente virtual deve ser fiel às ações do usuário. O tempo de resposta entre o movimento do usuário e atualização no ambiente de exibição deve ser inferior a 200 milissegundos para evitar problemas de enjoo.
H5	<i>Feedback realista</i> : os efeitos das ações do usuário em objetos do mundo virtual devem ser imediatamente visíveis e em conformidade com as leis da física e expectativas de percepção do usuário.
H6	<i>Fidelidade dos pontos de vista</i> : a representação visual do ambiente virtual deve mapear a percepção normal do usuário, e a mudança do ponto de vista pelo movimento da cabeça deve ser processada sem demora.
H7	<i>Suporte à navegação e orientação</i> : os usuários devem ser capazes de encontrar onde eles estão no ambiente virtual e voltar para posições definidas ou conhecidas.
H8	<i>Entrada e saída</i> : os meios de entrar e sair do mundo virtual devem ser claramente comunicados.
H9	<i>Ações consistentes</i> : ações no ambiente virtual devem ser claramente identificadas, como por exemplo, ações de substituição de energia (comuns em jogos) ou alternância entre formas de navegação.
H10	<i>Suporte à aprendizagem</i> : objetos ativos devem ser identificáveis ou, se necessário, explicá-los para promover aprendizagem do ambiente virtual.
H11	<i>Turn-taking</i> : aplica-se à conversação em que os “avatares” <sup>3</sup> podem se comunicar com o usuário ou quando o sistema toma a iniciativa. A alternância na comunicação deve ser clara para o usuário.
H12	<i>Senso de presença</i> : a percepção e engajamento do usuário de estar em um mundo “real” devem ser o mais natural possível.

As heurísticas são aplicadas em relação ao ambiente virtual que será objeto de estudo, podendo ser utilizadas todas ou algumas delas. Cada questão relaciona-se exclusivamente com uma heurística, porém cada heurística pode estar vinculada a várias

<sup>2</sup> *Affordance* é a qualidade de um objeto que permite ao usuário identificar sua funcionalidade sem prévia explicação.

<sup>3</sup> Avatar é a representação humana virtual do usuário.

questões, conforme Tabela 3. Em situações que o avaliador julgar uma questão como problemática de usabilidade, ou seja, escolher a opção "Não", este indicará um nível de gravidade, conforme mostra a Tabela 4.

### **4.3. Projeto Experimental**

A avaliação foi conduzida individualmente por seis participantes no total, 83% da área de Ciências de Computação e 17% de Engenharia Elétrica, que se apresentaram voluntariamente aos convites. Com relação ao perfil dos participantes: (i) 33% estão cursando a graduação, 33% são alunos de mestrado, 17% possuem pós-graduação *lato-sensu* e 17% são doutores; (ii) 83% utilizaram diagramas UML em sala de aula; (iii) 50% possuem experiência com orientação a objetos adquirida em projetos em sala de aula; e por fim, (iv) quanto a experiência com a linguagem Java, 17% foram obtidas em projetos na indústria, 33% em projetos pessoais, 33% com prática em projetos em sala de aula e 17% em livros ou em salas de aulas.

Neste trabalho, a avaliação apresentou os seguintes procedimentos: (i) aceitação do termo de consentimento para a realização da avaliação; (ii) preenchimento do formulário de caracterização de perfil; (iii) breve apresentação do objetivo do ambiente virtual, informando as possibilidades de interação por meio do teclado e *mouse*, não informando a função de cada tecla ou botão; (iv) livre navegação e exploração no ambiente virtual por 5 minutos, aproximadamente; (v) realização das tarefas no ambiente; e (vi) preenchimento do questionário contendo as heurísticas de usabilidade.

Para a execução da avaliação foi utilizado um notebook com monitor de 15,6 polegadas, teclado integrado e um *mouse* com 3 botões, utilizado tanto para o preenchimento dos formulários digitais, quanto para a interação com o ambiente virtual.

### **4.4. Ameaças à Validade**

Alguns fatores podem ser considerados como ameaças à validade neste estudo. Não foram realizados testes estatísticos para identificar *outliers*. Tomou-se essa decisão devido ao pequeno número de participantes que não é representativo. A quantidade de participantes, portanto, é considerada uma outra ameaça à validade do estudo. Por fim, outra possível ameaça é em relação aos perfis dos participantes, onde grande parte não são de engenharia de software.

### **4.5. Resultados e Discussões**

Como o intuito da avaliação heurística é identificar problemas de usabilidade, neste estudo foram identificadas três questões críticas: Q4, Q7 e Q9, as quais podem ser consultadas na Figura 2. Cada uma das três é descrita, iniciando pela mais crítica.

A finalidade da Q7 é de identificar se a navegação e exploração proporciona desorientação espacial. Todos os participantes julgaram como um problema de usabilidade, pois encontraram dificuldades de navegação no ambiente, ou seja, obteve 100% de rejeição. Este resultado induz que, possivelmente, os participantes tenham julgado com altos níveis de gravidade (entre 3 e 4). Contudo, 50% dos participantes avaliaram como nível de gravidade 2 e 33% como nível 3. Acredita-se que os participantes já tivessem a expectativa de desorientar-se, por se tratar de um ambiente virtual e tridimensional, característica comum em jogos.

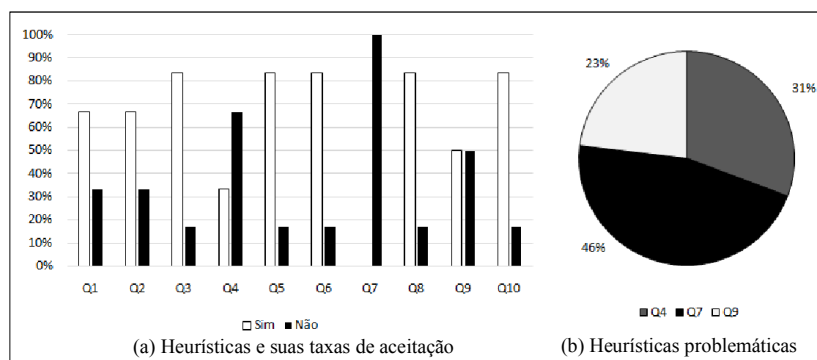
**Tabela 3. Questões utilizadas na avaliação relacionadas com as heurísticas**

Identificação	Heurística	Descrição
Q1	H1	A manipulação dos objetos disponíveis no ambiente virtual foi intuitiva?
Q2	H2	O diagrama de sequência 3D no ambiente virtual transmitiu o mesmo significado de um diagrama de sequência tradicional?
Q3	H2	Após interagir com os objetos no ambiente virtual, estes se comportaram como o esperado?
Q4	H3	A exploração e navegação no ambiente virtual por meio de suas interfaces ( <i>mouse</i> e teclado) foram satisfatórias?
Q5	H4	Mediante a interação com o ambiente virtual, o tempo de resposta de alguma ação foi imediato?
Q6	H5	Os efeitos aplicados aos objetos ( <i>lifelines</i> ) e mensagens transmitem a ideia de eventos ocorridos em tempo de execução?
Q7	H7	No ambiente virtual NÃO é possível se "perder" durante a navegação e exploração?
Q8	H7	O ambiente virtual dispõe de mecanismos para ajudar na orientação espacial?
Q9	H10	O ambiente virtual é composto por componentes virtuais autoexplicativos?
Q10	H12	O ambiente virtual transmitiu algum grau de sensação de "estar dentro" do ambiente?

**Tabela 4. Níveis de Gravidade**

Níveis	Descrição da Gravidade
0	não é um problema de usabilidade
1	parcialmente um problema de usabilidade
2	problema normal de usabilidade
3	problema relevante de usabilidade
4	problema crítico de usabilidade

Em relação à orientação, um dos participantes comentou: “*Querida que ele 'me levasse' junto com a execução do diagrama. Ou que eu pudesse 'me libertar' dessa execução e tivesse liberdade de acompanhar do ângulo que eu achasse melhor*”. Este comentário também está relacionado com Q9 (uso do botão “visão guiada pelas mensagens”). Apesar de julgar os elementos no ambiente parcialmente autoexplicativos, sentiu falta de um “*on/off*” no botão “visão guiada pelas mensagens” (c) ou algo que indicasse melhor se o botão estaria ativo ou não.



**Figura 2. Resultados das heurísticas**

O segundo mais crítico é Q4 com 67% de rejeição, onde procurou-se investigar o quanto as interfaces tradicionais interferem no ambiente virtual. Em relação aos graus de gravidade, 1/3 dos participantes avaliaram, respectivamente, com níveis 0, 1 e 3. Entre os

problemas, destacam-se a forma como interagiram com o botão *scroll* do *mouse*. Na etapa de exploração livre do ambiente, notou-se que todos os participantes tentaram efetuar o *zoom* rolando o *scroll*. Apenas 17% conseguiram utilizar esta função corretamente, mantendo o *scroll* pressionado e movimentando o *mouse* para frente e para trás.

Analisando os comentários, 33% dos participantes explicitaram o desconforto na utilização deste botão. Dentre eles, destaca-se: “*Achei a resposta do mouse lenta, os movimentos de zoom não são intuitivos, de início tentei usar a roda para dar zoom. Tive dificuldade na forma de retornar à posição original depois de mover as lifelines no ambiente 3d. O movimento pelas setas poderia ser um pouco mais rápido ou configurável. O que menos me agradou foi o tempo de resposta do zoom*”.

Por fim, a Q9 obteve um resultado parcial com 50% de rejeição. Metade dos participantes julgaram como item problemático. Nesta questão, procurou-se investigar se os elementos de interface de usuário eram autoexplicativos, ou seja, se o formato visual e nome indicavam intuitivamente suas funcionalidades. Alguns participantes comentaram que o entendimento do botão “visão guiada pelas mensagens” não foi alcançada, bem como a utilização de dicas explicativas para cada interface poderiam ser adicionadas ao ambiente.

Embora não seja comum a manipulação de diagramas de sequência 3D e ser um ambiente virtual em desenvolvimento, 63% dos participantes julgaram como positivo a usabilidade e interação com o ambiente virtual. As cores nas mensagens, bem como a alteração da forma de cada *lifeline* em *z*, ajudou identificar questões de qualidade de software, tal como o acoplamento em tempo de execução. Quanto aos aspectos negativos, a exploração por meio dos dispositivos de teclado e *mouse*, desorientação espacial e componentes autoexplicativos foram os mais criticados na avaliação.

No entanto, observou-se que, enquanto os participantes interagem com o ambiente virtual, estes despertavam a curiosidade em explorar a tridimensionalidade do ambiente, principalmente, com intuito de obter algum tipo de informação atrás do diagrama de sequência. Acredita-se, que este tipo de reação é devido ao fato de que o mundo real, intrinsecamente, seja tridimensional e, naturalmente, se comportaram da mesma forma explorando e interagindo com o diagrama no ambiente virtual.

A RV torna a interação com a visualização 3D o mais natural possível, transmitindo uma experiência imersiva na exploração de dados complexos. Apesar de limitar-se aos dispositivos convencionais, como o teclado, *mouse* e monitor, atualmente, tem-se popularizado tecnologias e dispositivos imersivos que estão viabilizando o uso de RV em diversos domínios, inclusive em visualização de software.

## **5. Considerações Finais**

A finalidade deste trabalho foi apresentar uma abordagem para análise dinâmica de software por meio de Realidade Virtual, denominada VisAr3D-Dynamic, e a avaliação de sua usabilidade para análise de rotas de execução de sistema de software de larga escala. Para isso, adotou-se heurísticas de ambientes virtuais por tratar de questões específicas de aplicações em Realidade Virtual.

A partir deste estudo, observou-se que a interação por meio de dispositivos não tradicionais pode ser uma barreira durante a navegação e exploração da informação dentro do ambiente virtual, apesar das vantagens da visualização em 3D. Como trabalhos futuros,

os itens críticos apontados neste estudo serão corrigidos, outros requisitos serão implementados, tais como múltiplas visões, a utilização de HMD ou Joystick, e, posteriormente, a realização de outra avaliação, visando obter evidências do potencial da experiência imersiva na exploração de dados complexos de software.

## Referências

- Basili, V., Caldiera, G., Rombach, H. (1994). "Goal Question Metric Paradigm". Encyclopedia of Software Engineering, v.1, John J. Marciniak, Ed. John Wiley & Sons, pp. 528-532.
- Cornelissen, B., Zaidman, A., & van Deursen, A. (2011). "A controlled experiment for program comprehension through trace visualization". IEEE Transactions on Software Engineering, 37(3), 341-355.
- Cornelissen, B., Zaidman, A., Van Deursen, A., Moonen, L., & Koschke, R. (2009). "A systematic survey of program comprehension through dynamic analysis". IEEE Transactions on Software Engineering, 35(5), 684-702.
- Dit, B., Reville, M., Gethers, M., & Poshypanyk, D. (2013). "Feature location in source code: a taxonomy and survey". Journal of Software: Evolution and Process, 25(1), 53-95.
- Fernandes, F. A.; Rodrigues, C. S.; Werner, C. M. (2015). "Um Ambiente de Realidade Virtual para Apoiar a Compreensão de Aspectos Dinâmicos do Software". Anais do II Fórum de Educação em Engenharia de Computação, V Simpósio Brasileiro sobre Engenharia de Sistemas de Computação, pp. 1-4.
- Kirner, C., & Tori, R. (2004). "Introdução à realidade virtual, realidade misturada e hiper-realidade". Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. 1ed. São Paulo, 1, 3-20.
- Maletic, J. I., Marcus, A., & Collard, M. L. (2002). "A task oriented view of software visualization". In Visualizing Software for Understanding and Analysis, 2002. Proceedings. First International Workshop on (pp. 32-40). IEEE.
- Nielsen, J. (1994). "Usability engineering". Elsevier.
- Rodrigues, C. S. C., Werner, C. M., & Landau, L. (2016). "VisAr3D: an innovative 3D visualization of UML models". In Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering Companion (pp. 451-460). Software Engineering Education and Training Track (SEET). ACM.
- Sutcliffe, A., & Gault, B. (2004). "Heuristic evaluation of virtual reality applications". Interacting with computers, 16(4), 831-849.
- Van Dam, A., Forsberg, A. S., Laidlaw, D. H., LaViola, J. J., & Simpson, R. M. (2000). "Immersive VR for scientific visualization: A progress report". IEEE Computer Graphics and Applications, 20(6), 26-52.
- Yacoub, S. M., Ammar, H. H., & Robinson, T. (2000). "A methodology for architectural-level risk assessment using dynamic metrics". In Software Reliability Engineering, 2000. ISSRE 2000. Proceedings. 11th International Symposium on (pp. 210-221). IEEE.