

1. Introdução

A atividade de teste de software continua sendo um dos pilares fundamentais para garantir a qualidade de sistemas complexos. Em particular, Testes manuais continuam desempenhando um papel central na garantia da qualidade de software, especialmente em cenários onde a automação é inviável ou insuficiente (Myers et al., 2011)., custosa ou insuficiente para capturar aspectos subjetivos da experiência do usuário, como usabilidade, percepção visual e comportamento dinâmico de interfaces. No entanto, a execução manual de suítes extensas de testes impõe alto custo cognitivo e operacional aos testadores, especialmente quando os casos de teste apresentam dependências de estado e passos parcialmente sobrepostos e também quando se trata de testadores iniciantes ou menos experientes.

Na prática, testadores experientes frequentemente adotam atalhos informais durante a execução de uma suíte de testes. Casos de teste relacionados a uma mesma funcionalidade tendem a compartilhar etapas iniciais semelhantes, permitindo que determinadas ações sejam executadas uma única vez e reaproveitadas para validar múltiplos cenários subsequentes. Esse comportamento humano, embora eficiente, não é explicitamente modelado ou explorado por técnicas tradicionais de priorização de casos de teste, que normalmente assumem a execução independente de cada teste a partir de um estado inicial.

Além disso, nem todas as ações presentes em um caso de teste possuem o mesmo impacto sobre o estado do sistema. Algumas ações são não destrutivas, como verificações visuais ou checagens de elementos da interface, enquanto outras são destrutivas ou transformadoras, alterando o estado da aplicação de forma irreversível ou parcialmente reversível. Ignorar essas diferenças pode levar a ordenações com quebras de estado, com isso verificações importantes são inviabilizadas por ações executadas prematuramente, aumentando a necessidade de reinicializações do sistema e, conseqüentemente, o esforço e retrabalho do testador.

Técnicas clássicas de priorização de casos de teste visam maximizar a detecção precoce de falhas, sendo amplamente estudadas no contexto de testes automatizados e regressão de software (Rothermel et al., 2001; Elbaum et al., 2002; Yoo & Harman, 2012). A literatura sobre priorização de casos de teste concentra-se majoritariamente em testes automatizados, especialmente em cenários de regressão de software (Yoo & Harman, 2012; Khatibsyarbini et al., 2018). Nesse contexto, este trabalho propõe uma abordagem baseada em sistemas de recomendação interativos para a ordenação adaptativa de casos de teste manuais. A ideia central é tratar a ordenação não como uma decisão fixa, mas como um processo dinâmico, no qual o sistema sugere sequências de execução que minimizam o esforço humano, respeitam dependências de estado e aprendem continuamente a partir do comportamento e feedback do testador. Dessa forma, busca-se capturar o conhecimento tácito de testadores experientes e incorporá-lo progressivamente ao processo de recomendação.

O objetivo deste trabalho é propor e avaliar um sistema de recomendação human-in-the-loop capaz de ordenar casos de teste manuais de forma adaptativa, considerando o impacto das ações no estado do sistema e explorando feedback explícito e implícito do testador e aprender com esse feedback. Espera-se que a abordagem reduza redundâncias, evite execuções desnecessárias e contribua para uma execução mais eficiente e natural das suítes de teste, aproximando o processo automatizado da forma como testadores experientes atuam na prática.

Diferentemente de abordagens tradicionais de priorização de testes, que focam em testes automatizados e ordenações estáticas, este trabalho investiga a ordenação adaptativa de testes manuais sob a perspectiva de sistemas de recomendação human-in-the-loop.

2. Objetivos e Hipóteses de Pesquisa

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor e avaliar um sistema de recomendação interativo para a ordenação adaptativa de casos de teste manuais, capaz de minimizar o esforço do testador humano, respeitando dependências de estado entre testes e incorporando conhecimento tácito por meio de feedback explícito e implícito durante a execução da suíte.

2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, este trabalho busca:

1. Modelar casos de teste manuais como ações sensíveis a estado, distinguindo ações não destrutivas (verificações) de ações destrutivas ou transformadoras (mudanças de estado).
2. Representar dependências e transições de estado entre casos de teste por meio de grafos de estados abstratos, mitigando a complexidade de sistemas extensos por meio de níveis de granularidade ajustáveis.
3. Projetar um sistema de recomendação interativo (human-in-the-loop) que sugira ordenações de execução de forma dinâmica, adaptando-se em tempo real caso ocorram falhas de teste que impeçam a progressão do estado planejado.
4. Capturar feedback do testador, tanto implícito (ordem seguida, tempo de execução, desvios da recomendação) quanto explícito (avaliações ou preferências).
5. Avaliar experimentalmente a abordagem proposta quanto à redução de esforço (medido por tempo e número de passos repetidos), redundância e necessidade de reinicializações do sistema.

2.3 Hipóteses de Pesquisa

Com base nos objetivos definidos, este trabalho investiga as seguintes hipóteses:

H1 — Redução de Esforço

A ordenação adaptativa de casos de teste manuais baseada em recomendação interativa reduz o esforço total do testador quando comparada a ordenações estáticas tradicionais.

H2 — Preservação de Estado

Considerar explicitamente o impacto das ações no estado do sistema reduz a necessidade de reinicializações e reexecuções de passos redundantes.

H3 — Aprendizado a partir do Testador

O uso de feedback humano (explícito e implícito) permite que o sistema aprenda preferências de execução e gere ordenações progressivamente mais eficientes.

H4 — Adequação a Diferentes Perfis

Para avaliar a eficácia da abordagem proposta e validar as hipóteses de pesquisa (H1 a H4), será realizado um experimento controlado comparando a execução manual tradicional com o sistema de recomendação interativo.

3. Motivação e Exemplo Ilustrativo

Apesar dos avanços nas técnicas de priorização de casos de teste, grande parte das abordagens existentes assume que os testes são executados de forma independente, iniciando sempre a partir de um estado conhecido e controlado do sistema. Essa suposição, embora válida em contextos de testes automatizados, não reflete fielmente a realidade da execução manual de testes, na qual o estado do sistema evolui continuamente ao longo da sessão de testes e decisões humanas influenciam diretamente a ordem de execução.

Estudos empíricos mostram que testadores frequentemente tomam decisões adaptativas durante a execução manual de testes, explorando o estado do sistema de forma incremental (Itkonen et al., 2009).. Em vez de executar cada caso de teste de forma isolada, eles identificam passos comuns entre cenários e organizam a execução de modo a reaproveitar estados intermediários sempre que possível. Esse comportamento é particularmente relevante em sistemas interativos, como aplicações de comunicação, onde ações sucessivas podem alterar o estado da aplicação de forma incremental.

Para ilustrar esse cenário, considere os três casos de teste apresentados a seguir, relacionados à funcionalidade de chamadas de voz e vídeo em uma aplicação de comunicação:

TESTE-001

Criar um contato

Iniciar uma chamada de voz com o contato

Verificar a presença do ícone de HD

TESTE-002

Criar um contato

Iniciar uma chamada de voz com o contato

Realizar o upgrade para uma chamada de vídeo

Verificar se o vídeo é exibido corretamente

TESTE-003

Criar um contato

Iniciar uma chamada de voz com o contato

Realizar o upgrade para uma chamada de vídeo

Realizar o downgrade para chamada de voz

Verificar se a chamada retorna ao modo de voz

Se esses casos fossem executados de forma estritamente independente, o testador precisaria repetir as ações iniciais de criação de contato e início de chamada para cada teste, incorrendo em redundância significativa de esforço. No entanto, um testador experiente tipicamente executaria os testes da seguinte forma:

1. Criar um contato
2. Iniciar uma chamada de voz
3. Verificar o ícone de HD (validando o TESTE-001)
4. Realizar o upgrade para chamada de vídeo
5. Verificar a exibição do vídeo (validando o TESTE-002)
6. Realizar o downgrade para chamada de voz
7. Verificar o retorno ao modo de voz (validando o TESTE-003)

Essa sequência permite validar os três casos de teste com menos passos repetidos, explorando o estado corrente do sistema. Contudo, esse tipo de otimização depende fortemente da experiência do testador e raramente é formalizado ou apoiado por ferramentas.

Além disso, observa-se que nem todas as ações possuem o mesmo impacto sobre o estado do sistema. A verificação da presença do ícone de HD, por exemplo, é uma ação não destrutiva, pois não altera o estado da aplicação. Em contrapartida, a ação de upgrade de uma chamada de voz para vídeo altera o estado do sistema, potencialmente inviabilizando verificações que dependem do estado anterior. Portanto, a ordem de execução das ações é crítica: realizar o upgrade antes da verificação do ícone de HD impediria a validação correta do TESTE-001 sem uma reinicialização do sistema.

Esse exemplo evidencia duas limitações centrais das abordagens tradicionais de priorização de testes:

- (i) a ausência de uma modelagem explícita de dependências de estado entre ações de teste; e
- (ii) a falta de mecanismos para capturar e reutilizar o conhecimento tácito empregado por testadores humanos durante a execução manual.

Diante desse cenário, surge a necessidade de uma abordagem que vá além da simples ordenação estática de casos de teste e que atue como um apoio à decisão para o testador humano. Um sistema capaz de modelar ações sensíveis a estado, sugerir sequências de execução que maximizem o reaproveitamento de estados intermediários e aprender progressivamente com o comportamento do testador tem o potencial de reduzir esforço, evitar reinicializações desnecessárias e tornar a execução manual de testes mais eficiente e sistemática.

4. Proposta do Sistema

Esta seção apresenta a proposta de um sistema de recomendação interativo para a ordenação adaptativa de casos de teste manuais, cujo objetivo é apoiar o testador humano na tomada de decisão durante a execução da suíte de testes, considerando dependências de estado e aprendendo progressivamente a partir do feedback do usuário.

4.1 Visão Geral da Arquitetura

O sistema proposto atua como um mecanismo de apoio à decisão, não executando diretamente os testes, mas sugerindo uma ordem de execução que visa minimizar esforço e redundância. A Figura X ilustra a arquitetura conceitual da solução.

(Figura X: Arquitetura do sistema de recomendação para ordenação de casos de teste manuais)

De forma geral, o sistema é composto pelos seguintes módulos:

1. Módulo de Entrada de Casos de Teste
2. Módulo de Modelagem de Estado
3. Módulo de Recomendação
4. Módulo de Interação e Feedback
5. Módulo de Aprendizado Adaptativo

4.2 Modelo de Entrada

O sistema recebe como entrada uma suíte de casos de teste manuais, onde cada caso é descrito como uma sequência ordenada de ações. Cada ação pode ser enriquecida com metadados simples, fornecidos explicitamente pelo testador ou inferidos automaticamente.

Formalmente, cada caso de teste é modelado como uma sequência ordenada de ações, conforme definido na Equação:

$$t_i = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$$

Cada ação possui atributos como:

- tipo da ação (ex.: criação, verificação, modificação),
- impacto no estado (não destrutiva ou destrutiva),
- pré-condições conhecidas.

Esse modelo permite capturar similaridades estruturais entre diferentes casos de teste e identificar ações compartilhadas entre cenários distintos.

4.3 Modelagem de Estado

Para lidar com dependências entre ações, o sistema mantém uma representação explícita do estado do sistema sob teste, modelada como um grafo de estados.

- Nós representam estados observáveis do sistema.
- Arestas representam ações de teste que provocam transições entre estados.
- Ações não destrutivas são modeladas como transições que preservam o estado, permitindo a execução de múltiplas verificações consecutivas sem a necessidade de reinicialização.
- Para evitar a explosão combinatória de estados em sistemas complexos, o modelo utiliza abstrações de estado baseadas em pré-condições e pós-condições fundamentais de cada funcionalidade.

Ações não destrutivas, como verificações visuais, são modeladas como transições que preservam o estado, enquanto ações destrutivas ou transformadoras resultam em mudanças de estado. Essa distinção permite ao sistema identificar pontos ideais para

execução de verificações, evitando que ações posteriores inviabilizem validações anteriores.

4.4 Mecanismo de Recomendação

Com base no estado atual do sistema e na estrutura do grafo de estados, o sistema gera uma ordenação recomendada de ações de teste. Essa ordenação não é fixa, sendo recalculada dinamicamente conforme o testador avança na execução da suíte.

O mecanismo de recomendação considera:

- ações ainda não executadas,
- estado atual do sistema,
- histórico de execuções anteriores,
- preferências aprendidas do testador.

O resultado é uma sequência sugerida que busca maximizar o reaproveitamento de estados intermediários e minimizar repetições desnecessárias de passos.

4.5 Interação Human-in-the-Loop e Feedback

Um aspecto central da proposta é a incorporação do testador humano no ciclo de decisão. O sistema não impõe a ordenação sugerida, permitindo que o testador aceite, ignore ou modifique a recomendação.

O feedback coletado pode ser:

- Implícito: ordem seguida, tempo gasto em cada ação, desvios da recomendação;
- Explícito: avaliações diretas sobre a utilidade da sugestão.

Esses sinais são utilizados para ajustar futuras recomendações, permitindo que o sistema aprenda progressivamente o estilo de execução do testador.

4.6 Aprendizado Adaptativo

O módulo de aprendizado utiliza o feedback acumulado para atualizar o modelo de recomendação ao longo do tempo. À medida que mais dados são coletados, o modelo passa a refletir preferências individuais e padrões de eficiência observados. Além disso, o sistema deve demonstrar resiliência:

- Tratamento de Falhas: Caso o testador reporte uma falha em uma ação (feedback explícito), o sistema deve recalcular instantaneamente a recomendação para os testes restantes, priorizando caminhos que não dependam do estado corrompido ou sugerindo o reset necessário no momento mais oportuno.

- **Evolução de Perfil:** A abordagem permite que o sistema se adapte a diferentes níveis de experiência, fornecendo recomendações mais detalhadas para iniciantes e atalhos mais agressivos para especialistas.

5. Método experimental

Categoria de Métrica	Métrica Específica	Definição / Objetivo	Expectativa com a Proposta
Esforço Operacional	Tempo Total de Execução	Duração total da sessão de teste, do início ao fim.	Redução , devido ao reaproveitamento de estados.
	Número Total de Passos	Contagem absoluta de ações executadas pelo testador.	Redução , pela eliminação de passos redundantes.
Eficiência de Estado	Taxa de Reinicialização (Resets)	Frequência com que o sistema precisa ser reiniciado para o estado inicial.	Minimização , ao priorizar ações não destrutivas antes das destrutivas.
	Relação Passos/Teste	Média de passos necessários para validar um caso de teste.	Melhoria , aproximando-se do comportamento de especialistas.
Qualidade da Recomendação	Taxa de Aceitação (Feedback Implícito)	Percentual de vezes que o testador seguiu a ordem sugerida.	Alta , indicando que a sugestão é natural e útil.
	Desvio da Recomendação	Frequência com que o testador ignora a sugestão para seguir um caminho próprio.	Diminuição progressiva , conforme o sistema aprende o perfil.
Experiência do Usuário	Carga Cognitiva (NASA-TLX)	Escala subjetiva de esforço mental e frustração durante a execução.	Redução , pois o sistema atua como apoio à decisão.

Referências:

1) Myers et al. – The Art of Software Testing

Seção: Introdução

Parágrafo 1

Função: justificar relevância de testes manuais

2) Yoo & Harman (2012)

Khatibsyarbini et al. (2018)

Seção: Introdução

Parágrafo 2 ou 3

Função: justificar o gap da literatura

3) Itkonen et al. (2009)

Seção: Motivação

Último parágrafo

Função: mostrar que decisão humana já é estudada