
**Teste de desempenho para sistemas embarcados
críticos: uma Revisão Sistemática**

Marcos Pereira Dos Santos

Ricardo Ramos de Oliveira

Prof^a. Dr^a. Elisa Yumi Nakagawa

Prof^a. Dr^a. Simone do Rocio Senger de Souza

Teste de desempenho para sistemas embarcados críticos: uma Revisão Sistemática

Marcos Pereira Dos Santos
Ricardo Ramos de Oliveira
Prof^a. Dr^a. Elisa Yumi Nakagawa
Prof^a. Dr^a. Simone do Rocio Senger de Souza

Trabalho apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para a disciplina de REVISÃO SISTEMÁTICA.

USP - São Carlos

Resumo

Os sistemas embarcados estão cada vez mais presentes em nosso dia-a-dia, e podem ser encontrados em diversos aparelhos como de uso doméstico, sistemas médicos, setor de aviação, transporte e diversos outros. Assim, cresce a cada dia preocupação da sociedade no geral quanto ao desempenho destes sistemas, que possuem natureza crítica e muitas vezes, caso falhem, podem ocasionar em catástrofes. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática, buscando estudos primários e comparando os mesmos, com relação ao teste de desempenho para sistemas embarcados críticos. Para esta revisão, foram utilizadas várias bases de dados na buscas de estudos primários que apresentavam testes de desempenho para sistemas embarcados críticos. Como resultados, pode-se notar que há nos últimos anos uma crescente preocupação com testes neste sentido e que já há vários estudos de caso e experimentos sendo conduzidos. Há também algumas ferramentas sendo propostas para permitir estes testes. Conclui-se assim que, os testes de desempenho são de grande importância e que apesar dos vários estudos primários já disponíveis, ainda há muita coisa a ser feita, assim, muitos pesquisadores estão direcionando suas pesquisas para garantir a qualidade e confiabilidade dos sistemas embarcados críticos.

Palavras Chaves: Teste de Desempenho, Sistemas Embarcados Críticos.

Sumário

Resumo	i
1 Introdução	1
2 Processo da Revisão Sistemática da Literatura	3
3 1^a Fase: Planejamento	5
3.1 Objetivos da Pesquisa	5
3.2 Questões de Pesquisa	6
3.3 Estratégia de Busca	7
3.4 Controle	7
3.5 Critérios de Inclusão e Exclusão	8
3.6 Procedimentos para seleção do Estudo	8
4 2^a Fase: Condução	10
4.1 Execução da Revisão	10
5 Análise dos Resultados e Avaliação da Hipótese	16
5.1 Resultados	17
5.1.1 RQ1 - Questão de pesquisa 1	17
5.1.2 RQ2 - Questão de pesquisa 2	18
5.1.3 RQ3 - Questão de pesquisa 3	18
5.1.4 RQ4 - Questão de pesquisa 4	19
5.2 Critérios de Qualidade	19
5.3 Ameaças a Validade do Estudo	20
6 Conclusão	21
Referências	22

Lista de Figuras

4.1	Distribuição dos estudos primários obtidos por fonte de consulta	12
4.2	Distribuição dos estudos primários incluídos por ano de publicação	15
5.1	Tabela de distribuição dos estudos primários por critério de qualidade . . .	20

Lista de Tabelas

3.1	Fontes de dados selecionadas para consulta.	7
4.1	Estudos primários retornados	12
4.2	Estudos primários retornados e incluídos por fonte de consulta	13
4.3	Estudos primários incluídos.	14
5.1	Estudos primários incluídos final	16
5.2	Sumarização de técnicas e critérios	18
5.3	Estudos primários que apresentavam estudo de caso ou experimento	19

Introdução

Os sistemas embarcados estão cada vez mais presentes em nosso dia-a-dia, e podem ser encontrados em aparelhos de uso doméstico, sistemas médicos, setor de aviação e transporte, onde podemos citar como exemplo sistemas de navegação, controle de injeção eletrônica, GPS, câmeras digitais, marca passo, celulares, games entre outros diversos tipos de dispositivos.

O elevado aumento destes produtos tem ocasionado um incremento da complexidade dos softwares embarcados, diante da abundância de recursos disponíveis de hardware, tornando os testes mais complicados se comparado com os softwares tradicionais, devido as características como: tempo-real, limitações de interface, entre outras. A ausência de testes nestes sistemas podem ocasionar prejuízos graves e até mortes, o que torna a atividade de teste de desempenho essencial nesta área.

Existem diversas motivações para montarmos equipes especializadas em testes de desempenho de sistemas. Além disso, o desempenho é o principal indicador da qualidade do produto e serve como parâmetro para aceitação por parte dos clientes ou pelo mercado que a cada dia está mais dinâmico e competitivo. Com o avanço das tecnologias de hardware e meios de propagação de dados, os clientes estão cada vez mais exigentes a procura de sistemas leves, com maior velocidade, escalabilidade, confiabilidade, eficiência, robustez e usando hardwares cada vez menores.

A garantia de qualidade em sistemas embarcados, envolvem também testes funcionais, que podem ser caixa preta ou caixa branca. Além da automação da execução de casos de

teste, existem várias técnicas para otimizar e avaliar a eficiência de um sistema. Dentre elas está o teste de desempenho, onde seu objetivo principal é quantificar e avaliar a eficácia do sistema.

Portanto, os testes de sistemas de tempo real, além de satisfazer os requisitos funcionais necessitam de requisitos de tempo, por exemplo, em um sistema *hard real time* a tarefa tem que ser executada e cumprir seu propósito até o tempo determinado, pois se o sistema não atender corretamente aos requisitos de tempo, a saída tem sido super dimensionar a capacidade computacional para que as tarefas sejam cumprida a tempo. Sendo assim, devido ao crescente desenvolvimento atual de software embarcado e dada a abundância de recursos disponíveis de hardware, está cada vez mais difícil manter a qualidade do software embarcado sem incorrer em aumentos de custo que inviabilizem o projeto.

Considerando este cenário, é apresentado uma revisão sistemática com o objetivo de investigar a evolução dos trabalhos relacionados a atividade de teste de desempenho para sistemas embarcados críticos, visando identificar trabalhos que abordem técnicas e critérios de teste de desempenho existentes para sistemas embarcados. A fim de conduzir a revisão sistemática, será utilizado o processo proposto por Kitchenham (2004) (Kitchenham, 2004).

A seguir será estabelecido o protocolo da revisão. Para isso, serão especificados: objetivos da pesquisa; questões de pesquisa; estratégia de busca; critérios de inclusão e exclusão; a extração dos resultados e métodos de síntese.

Processo da Revisão Sistemática da Literatura

Kitchenham (Kitchenham, 2004) define uma revisão sistemática da literatura como um meio de identificar, avaliar e interpretar toda pesquisa disponível relevante a uma questão, ou área, ou fenômeno de interesse de uma pesquisa particular. Revisões sistemáticas são baseadas em uma estratégia de pesquisa definida, que visa detectar o máximo possível de literatura relevante.

A principal razão para a realização de uma revisão sistemática é aumentar a qualidade do material sobre o assunto de interesse. A revisão sistemática pode ajudar a orientar o processo de investigação, evitando a duplicação desnecessária de esforços e erros. Em contraste com uma revisão convencional da literatura, realizada de forma *ad-hoc*, sempre que se começa uma investigação particular, uma revisão sistemática segue uma sequência bem definida e rigorosa de passos metodológicos, que oferecem um elevado valor científico para os resultados obtidos. No entanto, uma revisão sistemática requer um esforço considerável em comparação à uma revisão convencional da literatura, mas esse é o preço a ser pago por uma forma aprofundada e completa de investigação em uma área de interesse.

O processo de revisão sistemática da literatura de acordo com Brereton (Brereton et al., 2007) é constituído por dez passos, que podem ser agrupados em três fases principais. Durante a fase de planejamento da revisão, o pesquisador identifica as necessidades de revisão, especifica a questão de pesquisa, e desenvolve o protocolo da revisão. No final

CAPÍTULO 2. PROCESSO DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

desta fase, o protocolo deve ser validado para garantir que o planejamento é possível, antes de executar a revisão.

Na fase de execução da revisão, as buscas nas fontes definidas são executadas. Os estudos obtidos são avaliados de acordo com os critérios estabelecidos no protocolo. Em seguida, os dados relevantes encontrados nos trabalhos selecionados são extraídos e sintetizados. Finalmente, os resultados da revisão são publicados na terceira fase. Na prática, esta fase de documentação da revisão é realizada durante todo o processo, para armazenar os resultados de todas as fases anteriores.

Tendo em vista que o objetivo deste estudo é realizar um estudo exploratório de caracterização da área e haverá comparação. Assim, a presente pesquisa caracteriza-se como um processo de revisão sistemática (Kitchenham, 2004).

1^a Fase: Planejamento

Esta revisão inicia pela definição de um protocolo de revisão que especifica a questão principal e as questões secundárias da pesquisa e os métodos que serão utilizados para executar a revisão. O protocolo deve explicitar os critérios de inclusão e exclusão para acessar cada estudo potencial e documentar a estratégia de busca utilizada, de forma a permitir que leitores (e outros pesquisadores) possam conhecer seu grau de rigor e completeza.

As próximas subseções descrevem os componentes do protocolo utilizado na presente revisão. Este protocolo foi definido com base no template proposto por Biolchini et al. (2005) e no exemplo apresentado por Abrantes e Travassos (2007).

Assim, será adotada uma abordagem **PICO** que estrutura a questão de pesquisa em quatro elementos básicos: **população, intervenção, comparação e resultado** (Pai et al., 2004).

3.1 Objetivos da Pesquisa

Identificar e analisar os critérios tais como: tempo de resposta, número de usuários e possíveis gargalos, relacionados ao teste de desempenho para sistemas embarcados críticos, tais como as características e limitações de hardware que afetam o processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos. Além disso, pesquisar e estudar quais as ferramentas estão sendo desenvolvidas para o teste de desempenho para sistemas embar-

cados críticos. Os estudos abrangem desde estudos de casos a experimentos realizados com testes de desempenho para sistemas embarcados críticos. Por fim, o presente trabalho pretende comparar também os resultados à partir de outros trabalhos importantes na área, em relação ao teste de desempenho em sistemas embarcados críticos.

3.2 Questões de Pesquisa

De maneira a atender aos objetivos estabelecidos, foram elaboradas **questões de pesquisa** com os critérios de inclusão e exclusão de trabalhos:

- RQ1 - Qual a principal técnica e critério existente para a execução de teste de desempenho em sistemas embarcados críticos?
- RQ2 - Qual a principal característica do processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos e como estas afetam os testes de desempenho?
- RQ3 - Qual a principal ferramenta para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos têm sido desenvolvida?
- RQ4 - Qual o principal tipo de experimento ou estudo de caso para testes de desempenho de sistemas embarcados críticos têm sido realizados?

Uma boa formulação das questões de pesquisa são geralmente compostas e analisadas segundo diferentes pontos de vista. Dessa forma, nós utilizamos a abordagem PICO (População, Intervenção, Comparação and Resultados). Sendo assim, a população identifica o grupo populacional observado pela intervenção. Dessa forma, a intervenção refere ao que será observado no contexto da revisão sistemática; Comparação define o que é comparado no contexto da revisão sistemática. Por fim, a intervenção é expressa pelos Resultados. O PICO dessa revisão sistemática está apresentado como segue(Oliveira et al., 2012)(?):

- **População:** objetos em estudos tais como os sistemas embarcados, teste de desempenho e os projetos de pesquisas atuais da área.
- **Intervenção:** os critérios, as características dos sistemas embarcados e as ferramentas existentes.
- **Comparação:** Não inclui.
- **Resultados:** Uma revisão sistemática no contexto de testes de desempenho para sistemas embarcados críticos.

3.3 Estratégia de Busca

Considerando as questões de pesquisas como a base para se definir a estratégia de busca, definiu-se as palavras-chave que serão utilizadas para estabelecer a string de busca:

“*Performance Test*”

“*Critical Embedded System*”

É preciso lembrar que a palavra-chave escolhida deve ser simples o suficiente para trazer muitos resultados e, ao mesmo tempo, rigorosa o suficiente para cobrir apenas o tópico de pesquisa desejado. É utilizado o operador booleano *OR* para integrar os termos-chaves e seus sinônimos e o operador *AND* para integrar os diferentes sinônimos. Dessa forma, a *string* de busca definida é:

(performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test OR testing) AND (“hard real-time system” OR “hard real-time systems” OR “critical embedded system” OR “critical embedded systems” OR “critical embedded software”)

Além das questões de pesquisa e da estratégia de busca, também foram estabelecidas as **fontes de dados** a serem utilizadas para encontrar os estudos primários. O critério utilizado para selecionar as fontes foram: atualização de conteúdo - publicações são regularmente atualizadas; disponibilidade - texto deve estar na íntegra e não apenas os resumos; qualidade dos resultados - a precisão dos resultados retornados pela pesquisa de acordo com a *string* de busca.

Tabela 3.1: Fontes de dados selecionadas para consulta.

Fontes	Endereço do site
ACM Digital Library	http://portal.acm.org
IEEEExplore	http://ieeexplore.ieee.org
ISI Web of Knowledge	http://apps.isiknowledge.com
Science Direct	http://www.sciencedirect.com
Scopus	http://www.scopus.com

3.4 Controle

Com objetivo de que o grupo de controle avalie a string de busca, ou seja, se a string está devidamente calibrada e se está retornando os trabalhos de referência e relevantes. Foram definidos os principais trabalhos já realizados e executados, que são tópicos da área, além das principais publicações de congresso e eventos da área.

3.5 Critérios de Inclusão e Exclusão

Outro fator importante do planejamento da revisão sistemática é definir os **critérios de inclusão** e os **critérios de exclusão**. A partir desses critérios é possível incluir estudos primários que são relevantes para responder as questões de pesquisa e excluir os estudos que não as respondam. Dessa forma, os seguintes critérios de inclusão de trabalhos foram definidos para atender a cada uma das questões de pesquisa:

- C1 - O estudo primário descreve os critérios relacionados ao teste de desempenho de sistemas embarcados críticos;
- C2 - O estudo primário descreve métodos e critérios existentes para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos;
- C3 - O estudo primário descreve características do processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos e como essas características afetam os testes de desempenho;
- C4 - O estudo primário descreve ferramentas para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos;
- C5 - O estudo primário descreve experimentos ou estudos de caso para testes de desempenho de sistemas embarcados críticos.

Os critérios de exclusão estabelecidos são:

- E1 - Não trata de teste de desempenho de software.
- E2 - Não trata de sistemas embarcados críticos.
- E3 - Não se encontra redigido em inglês ou português.
- E4 - Versão completa não está disponível.

3.6 Procedimentos para seleção do Estudo

A seleção dos estudos dar-se-á em quatro etapas:

1. **Seleção e catalogação preliminar dos documentos coletados:** A seleção preliminar das publicações será feita a partir da aplicação da expressão de busca às fontes selecionadas. Cada publicação será catalogada no repositório de dados do estudo para análise posterior.

2. **Seleção dos documentos relevantes:** A seleção preliminar com o uso da expressão de busca não garante que todo o material coletado seja útil no contexto da pesquisa, pois a aplicação das expressões de busca é restrita ao aspecto sintático. Dessa forma, após a identificação das publicações através dos mecanismos de buscas, serão lidos os resumos dos trabalhos para que sejam analisados seguindo os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos.
3. **Avaliação dos documentos relevantes:** a lista de documentos incluídos e excluídos será avaliada pelos demais pesquisadores. Os pesquisadores deverão entrar em consenso sobre a seleção das publicações cujas avaliações se mostrem conflitantes. Em caso de impasse entre os pesquisadores, a publicação deverá ser incluída na lista de selecionadas. Para diminuir o risco de que uma publicação seja excluída prematuramente em uma das etapas do estudo, sempre que existir dúvida a publicação não será excluída.
4. **Extração de informações dos documentos relevantes:** após a definição da lista final de documentos relevantes, os documentos serão lidos pelos pesquisadores para extração das informações sobre conciliação de processos de desenvolvimento de software. Esta etapa também será avaliada pelos outros pesquisadores.

2^a Fase: Condução

Afase de condução, ou execução, da revisão sistemática consiste da busca de estudos primários nas fontes de dados relatadas no planejamento. Assim, serão obtidos os estudos primários, de maneira a possibilitar a sequência da revisão com a seleção dos estudos primários.

4.1 Execução da Revisão

Finalizado o protocolo, a *string* de busca foi aplicada nas fontes de consultas selecionadas. Devido a cada base de dados utilizar características de buscas diferentes, a *string* teve de sofrer adaptações para as mesmas. A seguir pode ser verificada a *string* utilizada em cada uma das base de dados:

- *String* ACM

(Title:((performance or environment or tool or software) and (evaluation or test or testing) and (“hard real-time system” or “hard real-time systems” or “critical embedded system” or “critical embedded systems” or “critical embedded software”)) or Abstract:((performance or environment or tool or software) and (evaluation or test or testing) and (“hard real-time system” or “hard real-time systems” or “critical embedded system” or “critical embedded systems” or “critical embedded software”)) or Keywords:((performance or environment or tool or software) and (evaluation or test or testing) and (“hard real-time system” or “hard real-time systems” or “critical embedded system” or “critical embedded systems” or “critical embedded software”)))

- *String* Ieeexplore

((performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test OR testing) AND (“hard real-time system” OR “hard real-time systems” OR “critical embedded system” OR “critical embedded systems” OR “critical embedded software”))

- *String* Scopus

TITLE-ABS-KEY((performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test or testing) AND (hard real-time system OR hard real-time systems OR critical embedded system OR critical embedded systems OR critical embedded software))

- *String* Science Direct

TITLE-ABS-KEY((performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test or testing) AND (hard real-time system OR hard real-time systems OR critical embedded system OR critical embedded systems OR critical embedded software))

- *String* ISI Web of Knowledge

TI=((performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test or testing) AND (“hard real-time system” OR “hard real-time systems” OR “critical embedded system” OR “critical embedded systems” OR “critical embedded software”)) OR TS=((performance OR environment OR tool OR software) AND (evaluation OR test or testing) AND (“hard real-time system” OR “hard real-time systems” OR “critical embedded system” OR “critical embedded systems” OR “critical embedded software”))

Os resultados das buscas com a *string* ajustada para cada base de dados são apresentados na Tabela 4.1 e Gráfico 3.1.

Tabela 4.1: Estudos primários retornados

Fonte	Retornados	Consulta
ACM Digital Library	18	15/06/2013
IEEEExplore	150	15/06/2013
Scopus	121	15/06/2013
ScienceDirect	10	15/06/2013
ISI Web of Knowledge	89	15/06/2013

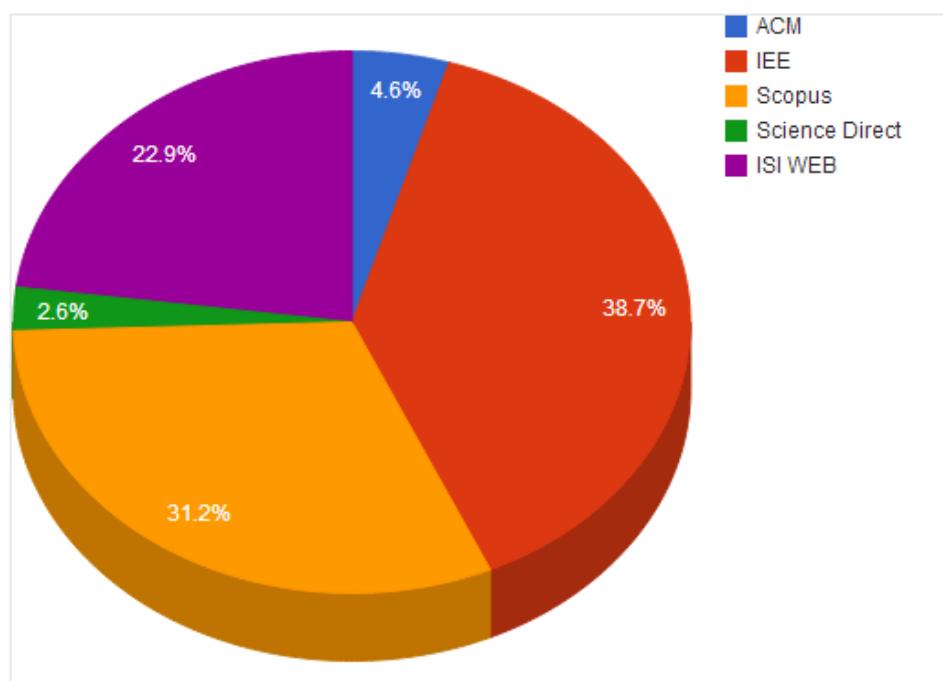


Figura 4.1: Distribuição dos estudos primários obtidos por fonte de consulta

Com as buscas realizadas, foram retornados um total de 388 estudos primários. Desta maneira, utilizando a ferramenta gerenciadora de referências, o JabRef¹, foram excluídos os trabalhos que estavam repetidos. Ao término deste processo foram excluídos 143 trabalhos, assim, restaram ao final 245 trabalhos à serem analisados.

Para realização da próxima etapa do trabalho foi selecionada uma amostra de 100 estudos primários, sendo 42 estudos primários selecionados da IEEE Xplore, 18 da ACM, 38 da Scopus e 2 da Science Direct. Nesta etapa, a seleção ocorreu através da seleção através de título, resumo ou *abstract* e palavras chaves e foram aplicados os critérios de

¹JabRef: <http://jabref.sourceforge.net/>

inclusão e exclusão do protocolo. Assim, nesta etapa foram incluídos 34 estudos primários (34%) e excluídos 66 (66%).

A Tabela 4.2 apresenta uma análise quantitativa dos resultados obtidos da seleção dos estudos primários por base de dados. Nesta tabela, possuí a coluna "retornados" que representa o número de trabalhos incluídos por base de dados para fase de seleção, "incluídos" que representa o número de trabalho que foram incluídos para o processo final da revisão, a "taxa de precisão" (relação entre o total dos estudos incluídos de uma base de dados e o total de estudos primários obtidos por estas bases de dados) e "taxa de indexação" (relação entre o total de estudos incluídos de uma base de dados e o total de estudos primários obtidos).

Tabela 4.2: Estudos primários retornados e incluídos por fonte de consulta

Fonte	Retornados	Incluídos	Taxa de Precisão	Taxa de Indexação
ACM	18	7	38,88%	7,00%
IEEEExplore	42	15	35,71%	15,00%
Scopus	38	11	28,94%	11,00%
ScienceDirect	2	1	50,00%	1,00%
ISI Web of Knowledge	0	0	0,00%	0,00%

A Tabela 4.3 apresenta os estudos primários incluídos com base no protocolo da revisão. Na próxima fase do trabalho, uma análise mais detalhada será realizada em um subconjunto de estudos primários, com objetivo de discutir e responder cada uma das questões de pesquisa.

A Figura 4.2, apresenta os estudos primários selecionados por ano de publicação. Através deste gráfico, pode-se notar um aumento à partir do ano 2006 nas pesquisas com relação a testes de desempenho para sistemas embarcados críticos.

Tabela 4.3: Estudos primários incluídos.

Estudo	Autores	Ano de publicação
1	(Alonso et al. 1995) (Alonso et al., 1995)	1995
2	(Audsley et al. 1996) (Audsley et al., 1996)	1996
3	(Baruah et al. 2011) (Baruah et al., 2011)	2011
4	(Berggren et al. 1992) (Berggren et al., 1992)	1992
5	(Blanton et al. 2012) (Blanton et al., 2012)	2012
6	(Bolchini and Miele, 2012) (Bolchini e Miele, 2012)	2012
7	(Chengzhi et al., 1998) (Li et al., 1998)	1998
8	(Cortellessa and Gentile,2004) (Cortellessa e Gentile, 2004)	2004
9	(Fraser and Wotawa 2007) (Fraser e Wotawa, 2007)	2007
10	(Giese and Henkler, 2006) (Giese e Henkler, 2006)	2006
11	(Golatowski et al. 2002) (Golatowski et al., 2002)	2002
12	(Guan et al.,2006) (Guan et al., 2006)	2006
13	(Jevtic and Damnjanovic, 1997) (Jevtic e Damnjanovic, 1997)	1997
14	(Jevtic et al, 2004) (Jevtic et al., 2004)	2004
15	(Kandl et al 2006) (Kandl et al., 2006)	2006
16	(Kastner et al.,2010) (Kastner et al., 2010)	2010
17	(Kenny and Lin, 1991) (Kenny e Lin, 1991)	1991
18	(Kim et al. 2002) (Kim et al., 2002)	2002
19	(Kloos et al. 2011) (Kloos et al., 2011)	2011
20	(Koriem, S.M. 1999) (Koriem, 1999)	1999
21	(Lindström et al. 2008) (Lindstrom et al., 2008)	2008
22	(Lutz, 1993) (Lutz, 1993)	1993
23	(Medikonda and Ramaiah, 2008) (Medikonda e Ramaiah, 2008)	2008
24	(Muppala et al. 1991) (Muppala et al., 1991)	1991
25	(Nejat et al 2012) (Nejati et al., 2012)	2012
26	(Pennella et al. 2006) (Pennella et al., 2006)	2006
27	(Perathoner et al, 2007) (Perathoner et al., 2007)	2007
28	(Salla et al. 2012) (Salla et al., 2012)	2010
29	(Schoitsch et al. 2006) (Schoitsch et al., 2006)	2006
30	(Sung and Choi 2003) (Sung e Choi, 2003)	2003
31	(Tavares et al.,2008) (Tavares et al., 2008)	2008
32	(Thome et al. 1994) (Thome et al., 1994)	1994
33	(Westmijze et al., 2011) (Westmijze et al., 2011)	2011
34	(Yang et al. 2013) (Yang et al., 2013)	2013

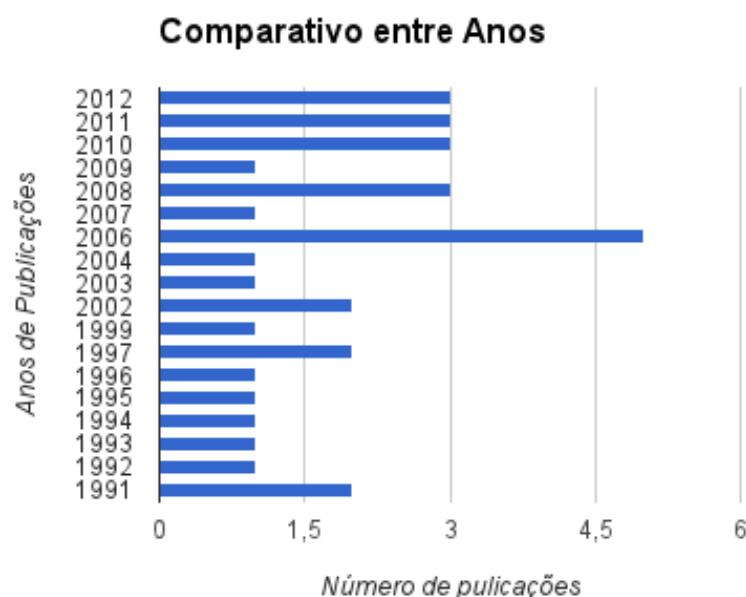


Figura 4.2: Distribuição dos estudos primários incluídos por ano de publicação

Análise dos Resultados e Avaliação da Hipótese

Esta fase da revisão sistemática é de grande importância, pois é nesta fase que serão apresentados e discutidos os resultados obtidos, com as informações extraídas de cada estudo primário, considerando as questões de pesquisa. Desta maneira, a seguir serão discutidos os resultados obtidos. Para realização desta análise, primeiramente será apresentado 10 estudos primários escolhidos para realização do estudo, os mesmos estão descritos na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Estudos primários incluídos final

Estudo	Autores	Ano de publicação
S1	(Lutz, 1993)	1993
S2	(Guan et al., 2006)	2006
S3	(Tavares et al., 2008)	2008
S4	(Lindström et al. 2008)	2008
S5	(Salla et al. 2012)	2010
S6	(Kenny and Lin, 1991)	1991
S7	(Muppala et al. 1991)	1991
S8	(Chengzhi et al., 1998)	2011
S10	(Koriem, S.M. 1999)	1999

5.1 Resultados

O teste de desempenho para sistemas embarcados críticos exige a medição e análise em Tempo Real, porém é muito difícil projetar e construir um sistema de tempo real devido alta complexidade dos cálculos que devem ser concluídos em horários predefinidos. Além disso, os sistemas *hard real time* devem atender aos requisitos críticos de confiabilidade e segurança, produzindo resultados corretos por um prazo rigoroso e de requisitos de alto rendimento.

Uma saída para satisfazer a exigência de prazo é por meio do teste de desempenho de tarefas do sistema. Os testes devem ser capaz de satisfazer o requisito de tempo de execução para uma determinada tarefa sem aumentar o custo do sistema.

Um sistema crítico é melhor caracterizado por quanto rápido ele pode responder a uma mudança de estímulos de entrada no ambiente. Assim, tais sistemas são chamados de sistemas de tempo real, uma vez que as consequências de não cumprir o prazo pode ser catastrófico.

Portanto, falhas e reparos de componentes de um sistema em tempo real pode afetar significativamente a performance e o desempenho do sistema de uma forma geral. Nesta fase, serão discutidas e respondidas as questões de pesquisa de acordo com os dados obtidos com a leitura completa dos estudos primários selecionados.

5.1.1 RQ1 - Questão de pesquisa 1

A primeira questão de pesquisa a ser respondida é "RQ1 - Qual a principal técnica e critério existente para a execução de teste de desempenho em sistemas embarcados críticos?". De acordo com os estudos primários, selecionados ao final desta revisão para leitura completa, há várias técnicas sendo utilizadas para teste de desempenho em sistemas embarcados críticos. Dos trabalhos analisados, 1 (10%) não apresentava nenhuma técnica ou critério de teste, 5 (50%) apresentavam descritas parcialmente as técnicas e critérios utilizados e 4 (40%) apresentavam descritas as técnicas e critérios utilizados nos testes de desempenho para sistemas embarcados críticos.

Os estudos primários que apresentavam a técnica e critério utilizado, possuíam características diferentes, assim, não será possível apontar qual a principal técnica ou critério existente para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos, para responder a esta questão será necessário uma leitura em uma maior subconjunto de estudos primários.

A tabela 5.2 apresenta de maneira resumida o tipo da técnica e critério utilizada pelos estudos primários, quando esta estava descrita.

CAPÍTULO 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA HIPÓTESE

Estudo Primário	Apresenta Sim/Parcial/Não	Tipo da Técnica ou Critério
S1	Não	
S2	Parcial	Apresenta teste estrutural (lógico)
S3	Parcial	Ferramenta para medição do consumo de energia
S4	Parcial	Técnica de teste para sistema real dinâmico
S5	Sim	Avalia desempenho da comunicação
S6	Parcial	Sistema Flex de conhecimento
S7	Sim	Metodologia unificada para modelagem
S8	Sim	Análise de escalonabilidade
S9	Parcial	Algorítmos AMC e SCM
S10	Sim	Time Petri net ou TPNs

Tabela 5.2: Sumarização de técnicas e critérios

5.1.2 RQ2 - Questão de pesquisa 2

A segunda questão de pesquisa a ser respondida é "RQ2 - Qual a principal característica do processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos e como estas afetam os testes de desempenho?". Dentre os estudos primários analisados, 9 (90%) não apresentavam características do processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos, 1 (10%) apresentava parcialmente descrito as características e nenhum dos trabalhos apresentava claramente descrito características do processo de desenvolvimento de sistemas embarcados críticos. Apesar de não apresentarem claramente descrito como é afetado os testes de desempenho para sistemas embarcados críticos, muitos estudos primários descrevem que os testes de desempenho ou testes no geral são afetados pelo alto custo envolvido na realização dos mesmos, muitas empresas deixam de o empregar devido a estes motivos e a falta de critérios de teste também é um dos motivos citados.

5.1.3 RQ3 - Questão de pesquisa 3

A terceira questão de pesquisa a ser respondida é "RQ3 - Qual a principal ferramenta para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos têm sido desenvolvida?". Dos estudos primários, 7 (70%) não apresentavam nenhuma ferramenta para teste de desempenho de sistemas embarcados críticos e 3 (30%) apresentavam ferramentas para o teste de desempenho de sistemas embarcados críticos. As ferramentas apresentadas são: "AMALGHMA tool"apresentada no estudo primário S3, "Compilador Flex - Sistema de cronometragem e medição"apresentado no estudo primário S6 e "Queueing Network's"apresentado no estudo primário S7. Como nas questões de pesquisa anteriores, o número de estudos primários estudados foi pequeno, para se responder qual a principal ferramenta disponível para

teste de desempenho de sistemas embarcados críticos, no entanto, foi possível identificar algumas ferramentas que vem sendo utilizadas.

5.1.4 RQ4 - Questão de pesquisa 4

A última questão de pesquisa a ser respondida é "RQ4 - Qual o principal tipo de experimento ou estudo de caso para testes de desempenho de sistemas embarcados críticos têm sido realizados?". Para responder a esta questão, primeiramente, pode-se notar pela tabela 5.3 que dos estudos primários selecionados apenas o S1 e S6 não apresentavam um estudo ou caso ou experimento descrito. Através da tabela 5.3, pode-se perceber que o único estudo primário a apresentar um experimento e estudo de caso é o S9, os demais apresentam um estudo de caso ou experimento.

Tabela 5.3: Estudos primários que apresentavam estudo de caso ou experimento

Tipo	Estudos primários
Estudo de caso	S2, S7, S9 e S10
Experimento	S3, S4, S5 e S9

5.2 Critérios de Qualidade

A fim de avaliar a qualidade dos estudos primários, foram definidos alguns critérios de qualidade que são:

- QC1 - Existem quaisquer declarações dos objetivos de pesquisa?
- QC2 - O estudo detalha os artefatos de teste?
- QC3 - O estudo apresenta alguma medida de teste?
- QC4 - O estudo apresenta alguma abordagem relacionada ao teste de desempenho?
- QC5 - Há uma clara condução de experimento ou estudo de caso?

Para representar a qualidade dos estudos primários, segundo os critérios de qualidade, foi definido que, para os resultados do formulário de extração (Sim, Parcial ou Não) de cada critério de qualidade, "Sim" é 1 ponto, "Parcial" é 0,5 e "Não" é 0. Dessa maneira, a figura 5.1 apresenta os estudos primários, já classificados por seu critério de qualidade.

Estudos Primários X Critérios de Qualidade	QC1	QC2	QC3	QC4	QC5
S1	1	0	0.5	0	0.5
S2	1	1	1	0.5	1
S3	1	0.5	0	1	1
S4	1	0	0.5	0	0
S5	1	0	0	1	0
S5	1	0	1	0.5	0
S7	1	1	1	1	1
S8	1	0	0	0	0
S9	1	1	1	0.5	0.5
S10	1	1	1	1	1

Figura 5.1: Tabela de distribuição dos estudos primários por critério de qualidade

5.3 Ameaças a Validade do Estudo

Na realização da revisão sistemática, principalmente na fase de condução são encontradas algumas ameaças. A busca pelos estudos primários ocorreu como sugerido pelos especialistas (Brereton et al., 2007), no entanto, algumas bases de dados não foram incluídas por não serem consideradas importantes ao escopo deste trabalho.

Devido ao tempo disponível para realização do estudo, ser insuficiente, não foi possível realizar a análise a todos os estudos primários retornados e classificados, assim, este estudo se limita a apresentar resultados de um grupo específico de estudos primários.

Na realização da leitura dos estudos primários e extração dos dados, algumas dúvidas surgiram, devido não ser uma tarefa trivial a quantidade de estudos que precisam ser analiados, assim, estas dúvidas eram anotadas e discutidas entre os autores e especialistas.

Conclusão

A revisão sistemática de literatura é uma forma de estudo secundário que utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar evidências disponíveis a respeito de uma questão de pesquisa particular de maneira imparcial e repetitível (Kitchenham, 2007). Neste sentido, este trabalho apresentou uma revisão sistemática da literatura sobre testes de desempenho para sistemas embarcados críticos. Esta revisão contribui de maneira significativa para futuros trabalhos, por trazer um panorama atualizado em relação à pesquisas para sistemas embarcados críticos.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se notar que há muitos estudos direcionados para este tema e que há uma grande preocupação da sociedade quanto a qualidade e confiabilidade de sistemas embarcados críticos. Assim, muitos trabalhos apresentaram experimentos e estudos de caso para testes nestes sistemas, e também foram apresentadas algumas ferramentas de apoio aos testes. Testes de desempenho envolvem muitas vezes eficiência, gasto de energia, comportamento que são dificultados pela natureza crítica dos sistemas, que apresentam muita dinamicidade e tempo de real de execução.

A partir deste trabalho, pesquisadores podem ter um panorama atual das pesquisas e principais critérios, técnicas e ferramentas utilizadas no teste de desempenho para sistemas embarcados críticos. Partindo do mesmo, novas pesquisas devem ser realizadas, a fim de contribuir para testes de sistemas embarcados críticos.

Referências

- Alonso, A.; Christensen, H.; Baresi, L.; Heikkinen, M. Iders: an integrated environment for the development of hard real-time systems. In: *Real-Time Systems, 1995. Proceedings., Seventh Euromicro Workshop on*, 1995, p. 4–10.
- Audsley, N.; Burns, A.; Davis, R.; Scholefield, D. J.; Wellings, A. J. Integrating optional software components into hard real-time systems. *Software Engineering Journal*, v. 11, n. 3, p. 133–140, 1996.
- Baruah, S.; Burns, A.; Davis, R. Response-time analysis for mixed criticality systems. In: *Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2011 IEEE 32nd*, 2011, p. 34–43.
- Berggren, H.; Gustafsson, M.; Lindh, L. Measuring and analyzing real-time kernel performance. *Microprocessing and Microprogramming*, v. 35, n. 1-5, p. 635–640, 1992.
- Blanton, E.; Lessa, D.; Ziarek, L.; Jayaraman, B. Ji.fi: visual test and debug queries for hard real-time. In: *Proceedings of the 10th International Workshop on Java Technologies for Real-time and Embedded Systems*, JTRES '12, New York, NY, USA: ACM, 2012, p. 155–164 (JTRES '12,).
- Bolchini, C.; Miele, A. Reliability-driven system-level synthesis for mixed-critical embedded systems. 2012.
- Brereton, P.; Kitchenham, B. A.; Budgen, D.; Turner, M.; Khalil, M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *J. Syst. Softw.*, v. 80, n. 4, p. 571–583, 2007.
- Cortellessa, V.; Gentile, M. Performance modeling and validation of a software system in a rt-uml-based simulative environment. In: *Object-Oriented Real-Time Distributed*

- Computing, 2004. Proceedings. Seventh IEEE International Symposium on*, 2004, p. 52–59.
- Fraser, G.; Wotawa, F. Using formal methods for ensuring quality requirements of systems. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, v. 124, n. 1-2, p. 13–16, 2007.
- Giese, H.; Henkler, S. Architecture-driven platform independent deterministic replay for distributed hard real-time systems. Portland, ME, 2006, p. 28–38.
- Golatowski, F.; Hildebrandt, J.; Blumenthal, J.; Timmermann, D. Framework for validation, test and analysis of real-time scheduling algorithms and scheduler implementations. In: *Rapid System Prototyping, 2002. Proceedings. 13th IEEE International Workshop on*, 2002, p. 146–152.
- Guan, J.; Offutt, J.; Ammann, P. An industrial case study of structural testing applied to safety-critical embedded software. Rio de Janeiro, 2006, p. 272–277.
- Jevtic, M.; Damnjanovic, M. An approach to design for testability in hard real-time systems. In: *Microelectronics, 1997. Proceedings., 1997 21st International Conference on*, 1997, p. 849–852 vol.2.
- Jevtic, M.; Zerbe, V.; Brankov, S. Multilevel validation of online monitor for hard real-time systems. In: *Microelectronics, 2004. 24th International Conference on*, 2004, p. 755–758 vol.2.
- Kandl, S.; Kirner, R.; Puschner, P. Development of a framework for automated systematic testing of safety-critical embedded systems. In: *Intelligent Solutions in Embedded Systems, 2006 International Workshop on*, 2006, p. 1–13.
- Kastner, D.; Heckmann, R.; Ferdinand, C. 100safety-critical software - efficient testing by static analysis. In: *Proceedings of the 29th international conference on Computer safety, reliability, and security*, SAFECOMP’10, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, p. 196–209 (SAFECOMP’10,).
- Kenny, K.; Lin, K.-J. Measuring and analyzing real-time performance. *Software, IEEE*, v. 8, n. 5, p. 41–49, 1991.
- Kim, W.; Shin, D.; Yun, H.-S.; Kim, J.; Min, S.-L. Performance comparison of dynamic voltage scaling algorithms for hard real-time systems. In: *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2002. Proceedings. Eighth IEEE*, 2002, p. 219–228.
- Kitchenham, B. Kitchenham, 2004 procedures for performing systematic reviews. 2004.

- Kitchenham, B. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. 2007.
- Kloos, J.; Hussain, T.; Eschbach, R. Risk-based testing of safety-critical embedded systems driven by fault tree analysis. Berlin, 2011, p. 26–33.
- Koriem, S. R-nets for the performance evaluation of hard real-time systems. *Journal of Systems and Software*, v. 46, n. 1, p. 41–58, 1999.
- Li, C.; Bettati, R.; Zhao, W. Response time analysis for distributed real-time systems with bursty job arrivals. In: *Parallel Processing, 1998. Proceedings. 1998 International Conference on*, 1998, p. 432–440.
- Lindstrom, B.; Offutt, J.; Andler, S. F. Testability of dynamic real-time systems: An empirical study of constrained execution environment implications. In: *Proceedings of the 2008 International Conference on Software Testing, Verification, and Validation*, ICST '08, Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, p. 112–120 (ICST '08,).
- Lutz, R. Analyzing software requirements errors in safety-critical, embedded systems. In: *Requirements Engineering, 1993., Proceedings of IEEE International Symposium on*, 1993, p. 126–133.
- Medikonda, B.; Ramaiah, P. Modeling software safety for safety-critical systems. Las Vegas, NV, 2008, p. 531–537.
- Muppala, J.; Woole, S.; Trivedi, K. Real-time systems performance in the presence of failures. *Computer*, v. 24, n. 5, p. 37–47, 1991.
- Nejati, S.; Di Alesio, S. b.; Sabetzadeh, M.; Briand, L. b. Modeling and analysis of cpu usage in safety-critical embedded systems to support stress testing. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 7590 LNCS, p. 759–775, 2012.
- Oliveira, L.; Osorio, F.; Nakagawa, E. Y. A systematic review on service oriented robotic systems development. *ICMC/USP*, 2012.
- Pai, M.; McCulloch, M.; Gorman, J. D.; Pai, N.; Enanoria, W.; Kennedy, G.; Tharyan, P.; Colford, J. M. Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. v. 17, n. 2, p. 89–95+, 2004.

- Pennella, G.; Di Biagio, C.; Pesce, G.; Cantone, G. Advances on testing safety-critical software: Goal-driven approach, prototype-tool and comparative evaluation. Setubal, 2006, p. 218–223.
- Perathoner, S.; Wandeler, E.; Thiele, L.; Hamann, A.; Schliecker, S.; Henia, R.; Racu, R.; Ernst, R.; Harbour, M. G. Influence of different system abstractions on the performance analysis of distributed real-time systems. In: *Proceedings of the 7th ACM & IEEE international conference on Embedded software*, EMSOFT '07, New York, NY, USA: ACM, 2007, p. 193–202 (EMSOFT '07,).
- Salla, G.; Sartin, A.; Da Silva, N.; Pigatto, D.; Branco, K. Performance evaluation of security communication in critical embedded systems. Campinas, Sao Paulo, 2012, p. 54–57.
- Schoitsch, E.; Althammer, E.; Eriksson, H.; Vinter, J.; Gonczy, L.; Pataricza, A.; Csértan, G. Validation and certification of safety-critical embedded systems: the decos test bench. In: *Proceedings of the 25th international conference on Computer Safety, Reliability, and Security*, SAFECOMP'06, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, p. 372–385 (SAFECOMP'06,).
- Sung, A.; Choi, B. Software testing techniques for safety-critical embedded software. New Orleans, LO, 2003, p. 197.
- Tavares, E.; Silva, B.; Maciel, P. An environment for measuring and scheduling time-critical embedded systems with energy constraints. In: *Software Engineering and Formal Methods, 2008. SEFM '08. Sixth IEEE International Conference on*, 2008, p. 291–300.
- Thome, B.; Glas, B.; Nahm, R. Validation of real-time systems: from “soft” to “hard”. In: *Systems Engineering of Computer-Based Systems, 1994., Proceedings., 1994 Tutorial and Workshop on*, 1994, p. 152–158.
- Westmijze, M.; Bekooij, M.; Smit, G.; Schrijver, M. Evaluation of scheduling heuristics for jitter reduction of real-time streaming applications on multi-core general purpose hardware. In: *Embedded Systems for Real-Time Multimedia (ESTIMedia), 2011 9th IEEE Symposium on*, 2011, p. 140–146.
- Yang, S. b.; Liu, B. b.; Wang, S.; Lu, M. b. Model-based robustness testing for avionics-embedded software. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2013.