

DOI:

COMPUTER REUSE IN THE CONSTRUCTION OF CLUSTERS APPLIED TO THE TEACHING-LEARNING PROCESS: A SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING.

REUTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES NA CONSTRUÇÃO DE CLUSTERS APLICADOS AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA.

Helder Daniel De Azevedo Dias

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7977-5305>

Josivaldo De Souza Araújo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6890-6923>

Abstract

To identify studies that have applied the concept of reusing computational equipment. This concept has been used for the construction of high-performance architectures aimed at teaching subjects that need environments of this field.

Discussions on sustainability have become common in the last few decades and they have also reached the Information Technology such as Green IT. Moreover, into this discussion, one of the main keys is the reuse and disposal of equipment sustainably.

Systematic Literature Mapping

In this regard, the developed protocol was applied on a national basis focused on education. It has obtained feedback from only 2 studies that pointed to the construction of clusters with legacy computers applied to the teaching.

Systematic Literature Mapping

One of the main keys is the reuse and disposal of equipment sustainably.

Key words: Legacy Hardware, Green TI, Teaching-Learning, Parallel Architecture, Parallel Programming, Distributed Systems

Resumo

Identificar trabalhos que tenham aplicado o conceito de reaproveitamento de equipamentos computacionais para a construção de arquiteturas de alto desempenho voltadas ao ensino de disciplinas que necessitam de ambientes dessa natureza.

Os debates envolvendo a sustentabilidade se tornaram comum nas últimas décadas e chegaram na Tecnologia da Informação, como TI Verde. E um dos principais pontos nesse debate é o reuso e o descarte dos equipamentos de uma forma sustentável.

Mapeamento Sistemático da Literatura

Para isso, o protocolo desenvolvido foi aplicado em bases nacionais voltadas à educação, obtendo retorno de apenas 2 trabalhos que apontaram a construção de clusters com computadores legado aplicados ao ensino.

Mapeamento Sistemático da Literatura

O reuso e o descarte dos equipamentos de uma forma sustentável.

Palavras-chave: Legado de Hardware, TI Verde, Ensino-Aprendizagem, Arquitetura Paralela, Programação Paralela, Sistemas Distribuídos

REUTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES NA CONSTRUÇÃO DE CLUSTERS APLICADOS AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA.

COMPUTER REUSE IN THE CONSTRUCTION OF CLUSTERS APPLIED TO THE TEACHING-LEARNING PROCESS: A SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING.

ABSTRACT: *Discussions on sustainability have become common in the last few decades and they have also reached the Information Technology such as Green IT. Moreover, into this discussion, one of the main keys is the reuse and disposal of equipment sustainably. These types of equipment, still in operation, are eligible for disposal because they have had low processing capacity in using for a long time and they have no longer covered the needs of their users. This disposal can be useful for the development of applicable solutions in the teaching-learning process of subjects such as Parallel Programming and Distributed Systems. The high cost of high-performance computing platforms can make plenty of higher education institutions becoming involved into the discussion consciously and practically. This paper presents a Systematic Literature Mapping in order to identify studies that have applied the concept of reusing computational equipment. This concept has been used for the construction of high-performance architectures aimed at teaching subjects that need environments of this field. In this regard, the developed protocol was applied on a national basis focused on education. It has obtained feedback from only 2 studies that pointed to the construction of clusters with legacy computers applied to the teaching.*

Keywords: *Legacy Hardware, Green TI, Teaching-Learning, Parallel Architecture, Parallel Programming, Distributed Systems.*

RESUMO: Os debates envolvendo a sustentabilidade se tornaram comum nas últimas décadas e chegaram na Tecnologia da Informação, como TI Verde. E um dos principais pontos nesse debate é o reuso e o descarte dos equipamentos de uma forma sustentável. Estes equipamentos, ainda em funcionamento, são elegíveis ao descarte por apresentarem longo tempo de uso, baixa capacidade de processamento e por não atenderem mais as necessidades de seus usuários. Esse descarte pode ser útil para o desenvolvimento de soluções sustentáveis e aplicáveis no processo de ensino-aprendizagem de disciplinas como a Programação Paralela e Sistemas Distribuídos. O alto custo de plataformas computacionais de alto desempenho, pode fazer com que muitas instituições de ensino superior entrem nesse debate de uma forma consistente e prática. Este trabalho apresenta um Mapeamento Sistemático da Literatura com o objetivo de identificar trabalhos que tenham aplicado o conceito de reaproveitamento de equipamentos computacionais para a construção de arquiteturas de alto desempenho voltadas ao ensino de disciplinas que necessitam de ambientes dessa natureza. Para isso, o protocolo desenvolvido foi aplicado em bases nacionais voltadas à educação, obtendo retorno de apenas 2 trabalhos que apontaram a construção de clusters com computadores legado aplicados ao ensino.

Palavras-chave: Legado de Hardware, TI Verde, Ensino-Aprendizagem, Arquitetura Paralela, Programação Paralela, Sistemas Distribuídos.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o desenvolvimento sustentável, tornou-se uma grande preocupação no mundo e vêm atingindo os mais diversos setores da economia. Isso pode ser comprovado por pesquisas realizadas pela ONU (Organizações das Nações Unidas), quanto aos assuntos dominantes no futuro, o desenvolvimento sustentável aparece como uma das principais preocupações apontadas. E como não podia ser diferente, o movimento da ecoconsciência chegou nos departamentos de Tecnologia da Informação (TI) sob o nome de TI Verde, onde o desenvolvimento de novas tecnologias têm proporcionado o surgimento de produtos ecologicamente corretos, tendo como principais metas a redução da poluição e da energia no desenvolvimento de produtos e serviços (Lunardi, 2014).

A primeira onda de TI Verde, ou *Green TI 1.0*, foi direcionada internamente na reengenharia de produtos e processos de TI, isso para melhorar a sua eficácia e eficiência energética, maximizar seu uso e atender aos requisitos de conformidade. Porém, verificou-se que a TI contribui com apenas 2% a 3% nas emissões de gases de efeito estufa, que deterioram o meio ambiente. Com isso, houve a necessidade de ampliar a abrangência da TI Verde, surgindo, dessa forma, uma segunda onda, denominada de *Green TI 2.0* (Martins, 2020).

Essa nova onda se preocupa não apenas com a emissão de gases do efeito estufa, mas, também, com outros aspectos relevantes, tais como: fabricação sustentável dos equipamentos de TI com a redução de elementos prejudiciais ao meio ambiente e saúde, preocupação com a logística reversa, apoio da TI as demais áreas corporativas, fornecendo condições para a fabricação de produtos sustentáveis, disseminação de boas práticas sustentáveis, a eliminação verde, entre outras práticas (Martins, 2020).

Um dos problemas mais comuns encontrados em departamentos de TI e, logo, também, em Universidades, é o descarte de computadores antigos, ou com baixa capacidade de processamento. Esse problema pode ser classificado, segundo a TI Verde 2.0, como eliminação verde, ou seja, o condicionamento e reutilização de computadores antigos e a reciclagem correta de computadores e de outros equipamentos eletrônicos (Martins, 2020). Isso porque os computadores, ainda funcionais, deixam de ser úteis devido à sua baixa capacidade de processamento, tornando-se “lixo eletrônico” e sendo amontoados nos cantos dos laboratórios ou salas de depósitos.

Por outro lado, a Computação de Alto Desempenho acabou se consolidando como uma importante área dentro da Computação, tendo os seus conceitos e arquiteturas, sendo utilizados nos mais variados ramos do conhecimento. No entanto, o alto custo desse tipo de arquitetura impossibilita, muitas vezes, o ensino prático de disciplinas como a Programação Paralela e Sistemas Distribuídos, o que faz com que muitas instituições de ensino, não disponibilizem aos alunos, uma prática efetiva dessas disciplinas, o que acaba reduzindo o aprendizado e a motivação, bem como o interesse por essa área da Computação (Bachiega, 2018).

No sentido de contribuir com a TI Verde 2.0 e, principalmente, desenvolver arquiteturas que possam servir como um apoio ao ensino de disciplinas que necessitem desse tipo de ambiente, este trabalho apresenta um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), com o objetivo de identificar sistemas legados (desenvolvidos através da reutilização de equipamentos de hardwares) que passaram a ser utilizados para o ensino de disciplinas oriundas da Programação Paralela, em Instituições de Ensino Técnico e Superior.

Dessa forma, este trabalho está estruturado em quatro seções, além da Introdução. Na seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados, bem como a justificativa para este

trabalho; na seção 3, é descrito o protocolo utilizado na elaboração do Mapeamento Sistemático da Literatura; na seção 4, são descritos os resultados, com as respostas as questões, principal e secundárias; na seção 5, é apresentada a conclusão e discutidos os trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS E JUSTIFICATIVA.

O estudo desenvolvido por (Martins, 2020) faz uma discussão de como realizar o reuso e o descarte de equipamentos e itens de TI de forma sustentável. Para isso, apresenta os conceitos de TI Verde e faz uma análise comparativa das normas europeias, das certificações de equipamentos focados na sustentabilidade do meio ambiente e as publicações nacionais relacionadas à sustentabilidade e ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos. O estudo destaca, também, iniciativas de sustentabilidade dos fabricantes e de algumas instituições, ressaltando a importância da logística reversa. Contudo, no estudo, não são identificados casos voltados para o reaproveitamento dos equipamentos voltados ao ensino, ou a montagem de arquiteturas paralelas.

No trabalho de (Utyiama, 2019) é realizado um levantamento, através de uma entrevista, relacionada a aplicação da TI Verde em algumas empresas de desenvolvimento de softwares do polo industrial na cidade de Manaus, como também, buscas em sites de empresas de TI para identificar as técnicas utilizadas para a reciclagem de computadores e periféricos eletrônicos obsoletos. O estudo identifica o reaproveitamento desses materiais na transformação dos mais variados produtos, desde o desenvolvimento de robôs voltados para fins educacionais, como criação de estruturas de um braço mecânico, condicionamento de computadores que foram doados para instituições educacionais, fabricação de luminárias, lixeiras, relógio de paredes, quadros, esculturas, entre outros. Porém, no estudo, não é identificada a montagem arquiteturas paralelas que pudessem ser destinadas ao ensino da Programação Paralela.

No estudo apresentado por (Coutinho, 2013) é utilizado uma arquitetura de alto desempenho, no entanto, o ambiente utilizado foi do Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho (CENAPAD), ou seja, uma estrutura própria para o desenvolvimento de aplicações que necessitam de grande poder de processamento. Além deste, foi desenvolvida uma estrutura em nuvem, privada, com computadores que faziam parte do próprio laboratório. As estruturas foram utilizadas na disciplina de Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas, no curso de graduação de Sistemas e Mídias Distribuídas da Universidade Federal do Ceará (UFC). Neste caso, se utilizou uma arquitetura paralela, no entanto, a estrutura não foi desenvolvida com equipamentos reutilizáveis. Este estudo destaca as parcerias, que podem ser estabelecidas, com centros de pesquisa, que possam oferecer, de alguma forma, uma estrutura para o ensino de disciplinas dessa natureza.

2.1. Justificativa

O Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) realizado neste trabalho, tem como objetivo identificar as abordagens existentes para a montagem de arquiteturas paralelas que possam ser utilizadas no ensino da Programação Paralela, bem como, no desenvolvimento de pesquisas que necessitem de arquiteturas dessa natureza. Com a identificação dessas abordagens, será possível avaliar os ambientes desenvolvidos, as práticas utilizadas, bem como, o efeito do legado com o reaproveitamento dos equipamentos. Desta forma, têm-se a seguinte estrutura, conforme proposto em (Pereira, 2019):

- **Analisar:** publicações científicas (trabalhos técnicos e relatos de experiências) através de um estudo baseado em mapeamento sistemático;

- **Com o propósito de:** identificar abordagens (métodos, técnicas, práticas e arquiteturas) existentes que apoiem o ensino da Programação Paralela através do legado de hardware, e a utilização de softwares livres.
- **Com relação ao:** as práticas que auxiliem o ensino da Programação Paralela, assim como, o desenvolvimento de pesquisas;
- **Do ponto de vista:** de professores, pesquisadores e alunos.
- **No contexto:** acadêmico.

3. MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA (MSL)

A principal meta de um MSL consiste em fornecer uma visão geral e formativa que permitem classificar os tópicos estudados de dentro de uma determinada área de pesquisa (Cabrejos, 2018). Para isso, o mapeamento sistemático faz uso de estudos previamente publicados e validados pertinentes ao tópico de interesse: os estudos primários, estudos de natureza experimental que envolvem hipóteses e resultados obtidos com pesquisas e experimentação, a partir de diferentes métodos, como *surveys*, estudo de caso e experimentos (Mafra e Travassos, 2006).

O Mapeamento Sistemático consiste em um estudo secundário, pois têm como objetivo agregar e sintetizar os resultados de estudos primários (Cabrejos, 2018). Assim, pode ser feita a integração de diversos estudos experimentais, de forma a identificar seus resultados, visto que nenhum estudo individualmente pode ser considerado definitivo, sendo necessária a confirmação de resultados obtidos a partir da análise de um número maior de estudos (Mafra e Travassos, 2006).

3.1. Fatores da Pesquisa

Uma das etapas iniciais de um estudo secundário é a definição das questões de pesquisa, pois elas permitem guiar a condução do estudo, definindo o que deve ser respondido quanto ao tópico de pesquisa abordado (Cabrejos, 2018). Para o mapeamento desenvolvido neste trabalho, foi formulada a seguinte questão de pesquisa:

- **Questão de Pesquisa (QP):**
 - **QP:** Quais as abordagens utilizadas são provenientes da montagem de cluster de computadores com equipamentos reutilizados no contexto da TI Verde?

A questão levantada foi organizada conforme a estrutura *Population, Intervention, Context, Outcomes, Comparison* (PICOC), recomendada por (Kitchenham, 2007). Entretanto, apenas os itens População, Intervenção, Contexto e Resultados foram considerados relevantes para a pesquisa. Como este estudo secundário é um MSL, o item Comparação do PICOC não foi avaliado, já que os pesquisadores não possuem interesse em comparar os resultados, apenas identifica-los (Cabrejos, 2018).

Na questão de pesquisa, objetiva-se identificar a reutilização de computadores existentes, no contexto da Tecnologia da Informação Verde (TI), para montagem de *cluster* de computadores (População), na qual, busca-se encontrar métodos, práticas, metodologias e modelos (Intervenção) que possam ser empregadas na Programação Paralela (Contexto), para o ensino ou pesquisa (Resultado), (Santos, 2010). Logo, definiu-se a seguinte estrutura de pergunta de pesquisa, de acordo com o Quadro 1.

Um conjunto de questões secundárias, referentes à questão principal, foram estabelecidas, para serem respondidas durante a fase de extração de informações. Tais questões têm o objetivo de esclarecer detalhes importantes que este mapeamento procura identificar, para colaborar com o projeto onde este se insere:

- **QS.1:** Qual o contexto (ensino, pesquisa, extensão, administração) de aplicação da abordagem encontrada?
- **QS.2:** Quais atividades de ensino foram beneficiadas com o reaproveitamento e consequente montagem da arquitetura paralela?
- **QS.3:** Quais as instituições de ensino e os cursos que apoiaram, ou foram beneficiadas com a montagem da arquitetura paralela?
- **QS.4:** Quais os tipos de equipamentos foram reaproveitados, e não descartados?
- **QS.5:** Quais os sistemas operacionais, bibliotecas, softwares e linguagens mais utilizados nas arquiteturas montadas?
- **QS.6:** O cluster montado com equipamentos reutilizados possui algum apoio de algum órgão da instituição (Faculdade, Instituto, Reitoria) ou de pesquisa?

Quadro 1 - Estrutura da Questão de Pesquisa

Critério	Termo Base	Sinônimos
População (P)	TI Verde Cluster de Computadores Reutilização, Reciclagem, Legado	<i>Green TI</i> <i>Computer Cluster</i> <i>Reuse, Recycle, Legacy</i>
Intervenção (I)	Técnica, Método, Modelo, Metodologia, Abordagem	<i>Technique, Method, Model,</i> <i>Methodology, Approach</i>
Contexto (C)	Programação Paralela	<i>Parallel Programming</i>
Resultado (O)	Ensino, Educação, Pesquisa	<i>Teaching, Education,</i> <i>Research</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2. Fontes de Pesquisa

Para a seleção das fontes de pesquisa, foram definidos os seguintes critérios:

- Disponibilidade para consultas web;
- Disponibilidade para busca de artigos através do domínio da Instituição de Ensino superior (IES);
- Disponibilidade de artigos na íntegra através do domínio da IES ou a partir da utilização da *engine* de busca Google ou Google Scholar ou Portal CAPES;
- Disponibilidade de artigos em português;
- Que possuam máquinas de busca;

Sendo assim, as fontes definidas para a extração de dados dos estudos primários são as bases digitais nacionais, periódicos e conferências, voltadas à educação e apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Fontes de Pesquisa.

Periódicos
Revista de Informática Teórica e Aplicada.
Revista Informática na Educação: Teoria e Prática.
Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE).
Revista Principia (IFPB).
Revista de Educação, Ciência e Tecnologia.

Revista Brasileira de Informática na Educação
Revista Educacional Interdisciplinar (REDIN).
Revista Educação & Tecnologia
Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação
Revista Brasileira de Educação em Ciência da Informação
Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação
Revista Internacional de Educação Superior
<i>International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE/SBC)</i>
Congressos/Conferências
Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE).
Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.
<i>Workshop</i> Desafios da Computação Aplicada à Educação.
<i>Workshop</i> de Informática na Escola (WIE).
<i>Workshop</i> sobre Educação em Computação (WEI).
<i>Workshop</i> em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação.
<i>Compute on the Beach.</i>
Congresso sobre Tecnologias na Educação
<i>Workshop</i> de Desafios da Computação Aplicada à Educação
<i>International Conference On Information Systems And Technology Management (CONTECSI)</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.3. *String* de Busca

As *strings* de busca foram adaptadas segundo as máquinas de buscas de cada fonte de pesquisa. No Quadro 4, são apresentadas as *strings* utilizadas com base nas palavras-chave definidas em português e inglês.

Quadro 4 - Construção da *string* de busca.

Idioma	<i>String</i> de busca
Português	<i>("TI Verde" OR "Cluster Computadores" OR "Reutilização" OR "Reciclagem" OR "Legado") AND ("Técnica" OR "Método" OR "Modelo" OR "Metodologia" OR "Abordagem") AND ("Programação Paralela") AND ("Ensino" OR "Educação" OR "Pesquisa").</i>
Inglês	<i>("Green TI" OR "Computer Cluster" OR "Reuse Computer" OR "Recycle Computer" OR "Legacy") AND ("Technique" OR "Method" OR "Model" OR "Methodology" OR "Approach") AND ("Parallel Programming") AND ("Teaching" OR "Education" OR "Research").</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.4. Escopo e Restrições de pesquisa

A pesquisa possui um escopo que obedece às restrições definidas no Quadro 5, que asseguram a viabilidade da pesquisa (Pereira, 2019).

O período da pesquisa foi definido, tendo como base, a versão da ISO 14001 publicada em novembro de 2004. Para um melhor entendimento acerca da escolha desta data, vale ressaltar que, em 1993, surge o TC - 207, Comitê Técnico para elaboração de uma série de normas relacionadas com a Gestão Ambiental, sendo composto por 30 países membros (inclusive o Brasil) e 14 observadores. Como consequência, em 1996, é publicada a ISO 14001 (única norma certificável da série), além da 14004, 14010 e 14011, traduzidas para o português pela ABNT, na série NBR ISO 14000, válidas a partir de 02/12/96.

Quadro 5 - Escopo e Restrições de pesquisa

Escopo	Restrições
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Artigos disponíveis na web e acessíveis por meio da rede de domínio da IES cuja a busca possa ser realizada via <i>engine</i> da <i>Google</i> e <i>Google Scholar</i>; ▪ Disponibilidade de artigos em Português; ▪ Uso de mecanismos de busca utilizando palavras-chave; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os trabalhos devem mencionar pelo menos uma das palavras chaves propostas; ▪ A pesquisa não deve ocorrer em ônus financeiro aos pesquisadores, ou seja, deve-se selecionar apenas trabalhos que tenham acesso gratuito; ▪ A pesquisa deve estar restrita aos resultados publicados entre 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em 2001, o CB-38, Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, decidiu criar um grupo para elaborar a interpretação oficial brasileira de pontos polêmicos de entendimento da norma NBR ISO 14001 (1996), conforme resolução ABNT/CB38/CG/77/00. Esta decisão atendeu à orientação do TC-207 - Comitê Técnico em Gestão Ambiental da ISO – Organização Internacional de Normalização, de acordo com documento ISO/TC207/SC1/N161. Na primeira edição foram abordados 30 pontos. Com a publicação da nova versão da ISO 14001 em novembro de 2004 algumas das questões originalmente tratadas neste documento foram esclarecidas pela nova redação dos requisitos bem pelos exemplos fornecidos no seu anexo A e, por estes motivos, estas questões foram retiradas. As questões de interpretação que permaneceram tiveram sua redação adequada à nova nomenclatura e definições utilizadas na versão de 2004.

3.5. Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão servem para avaliar a qualidade de um artigo científico, e assim criar uma lista de possíveis artigos primários selecionados, e outra, com os artigos excluídos (Pereira, 2019). Os critérios utilizados nesta pesquisa foram definidos e apresentados no Quadro 6, os critérios de Inclusão, e no Quadro 7, os critérios de Exclusão definidos para este MSL.

Quadro 6 – Critérios de Inclusão

Critérios de Inclusão
CI.1. Estudos que apresentem abordagens primárias, no contexto da reutilização de equipamentos para montagens de clusters de computadores voltados para o ensino da programação paralela;
CI.2. Experiências de Instituições de ensino (técnico, tecnológico ou superior) no reaproveitamento de equipamentos para a pesquisa na área da programação paralela;

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 7 – Critérios de exclusão

Critérios de Exclusão
CE.1. Estudos que não estejam disponíveis livremente para consulta ou download (em versão completa) através das fontes de pesquisa ou através das ferramentas de busca Google (http://www.google.com.br/) e/ou Google Scholar (http://scholar.google.com.br/);
CE. 2. Estudos que claramente não atendam as questões de pesquisa;
CE. 3. Estudos repetidos (em mais de uma fonte de busca) terão apenas sua primeira ocorrência considerada;
CE. 4. Estudos que não sejam artigos completos;
CE. 5. Trabalhos que sejam anteriores a 2004 (pesquisa desenvolvida entre janeiro/2004 e junho/2020).
CE.6. Estudos que não tiverem sido desenvolvidos em Instituições de ensino nacional e que não estejam em português.
CE. 7. Estudos Secundários.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.9. Procedimentos do MSL e da Seleção dos estudos Primários

Para a condução deste MSL foram alocados dois pesquisadores (um mestrando e um graduando), que realizaram os seguintes passos:

- A verificação e validação das *strings* de busca com o intuito de averiguar sua acurácia no retorno dos artigos primários (artigos de controle) e também, assim, poder criar múltiplas instâncias destas *strings* adaptadas para cada base de dados. Um artigo de controle é um artigo que, antes de iniciar a condução do estudo secundário, foi definido como relacionado para responder à questão de pesquisa principal;
- Após os testes das *strings* de busca, os dois pesquisadores aplicaram a mesma nos indexadores de conteúdo científico por meio do domínio da Instituição de ensino que pertencem para encontrar os possíveis artigos primários;

- No momento seguinte, os pesquisadores leram os títulos e os resumos dos artigos retornados pela *string* de busca. Para assim, criar uma lista com os possíveis artigos primários;
- Os artigos presentes na lista de possíveis artigos primários tiveram seus títulos, resumos, introduções e conclusões lidos. Neste momento, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão para descartar os falsos positivos, e assim criar uma lista dos artigos primários e uma lista dos artigos excluídos;
- As listas contendo os artigos primários foram comparadas e unificadas. Um artigo era incluído se ao menos um pesquisador o tivesse inserido em sua lista de possíveis artigos primários;
- Os estudos presentes na lista foram lidos em sua totalidade e os critérios de qualidade foram aplicados nestes. Assim, os artigos foram categorizados segundo os níveis de (Beecham, 2007);
- Após, os artigos presentes na lista gerada anteriormente, passaram pela etapa de extração de dados;
- Ademais, todos os documentos e procedimentos foram validados a partir de reuniões com o orientador desta pesquisa.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção será apresentada a condução das análises dos resultados dos estudos primários, visando responder as questões de pesquisa e secundárias.

4.1. Busca Manual e Automática

Visando garantir uma maior confiabilidade para o MSL proposto, seguiu-se o procedimento de realizar um estudo piloto ao início deste MSL (Kitchenham, 2007), onde foi realizada uma busca manual em todas as bases utilizadas e em mais algumas outras bases que não compuseram o mapeamento sistemático devido terem alguma restrição de uso (vide Quadro 3). A busca manual visa analisar a qualidade dos trabalhos disponíveis sobre os temas referidos a cada uma das questões de pesquisa. Assim, foi identificada uma quantidade mínima de trabalhos relacionados com cada um dos temas. Em consequente, foram selecionados alguns dos trabalhos da busca manual como estudos chave, que, posteriormente, foram identificados nas bases digitais durante a busca automática.

Após isso, foi definido o protocolo do mapeamento sistemático, seus atributos, como *strings* de busca, fontes de pesquisa, entre outras informações. Com as *strings* de busca definidas para cada base digital, cada pesquisador iniciou a busca automática em sua respectiva base. Os dados retornados pelas bases foram armazenados em um software especializado que fornece um banco de dados para o auxílio desta tarefa. Para esta fase, foram coletadas as seguintes informações de cada artigo: a base de onde foi extraído o artigo; o título; os autores; o ano de publicação; o nome do veículo no qual o artigo foi publicado; o resumo; e o endereço do artigo na sua base.

4.2. Seleção dos Estudos pelo Título e Resumo

Para realizar a seleção dos estudos primários foram utilizados: dois pesquisadores (um aluno de Mestrado e um aluno de Graduação); e o acesso às fontes de pesquisa por meio do domínio da Instituição de Ensino Superior (IES) a qual pertencem.

Neste momento, cada pesquisador leu apenas o título e o resumo para a primeira etapa de seleção dos estudos primários, onde se buscou compreender o possível

alinhamento do trabalho lido com as questões de pesquisa deste MSL a partir do entendimento do objetivo geral apresentado no trabalho. Caso o trabalho, em seu título e resumo, abordasse questões relevantes aos temas deste MSL, os mesmos eram considerados aceitos nesta fase.

Neste momento, foram identificados e excluídos os estudos duplicados entre as diferentes bases, e também, foram identificados e excluídos os trabalhos que estavam desalinhados aos temas deste MSL. Caso houvesse dúvida sobre o alinhamento do trabalho com as questões de pesquisa, os pesquisadores liam a introdução e a conclusão do artigo para decidir sobre a inclusão do artigo.

4.3. Seleção dos Estudos pela Introdução e Conclusão ou Leitura Completa

Os estudos primários foram coletados durante o período de 4 meses (de abril a julho de 2021), utilizando as *strings* de busca nas fontes de pesquisa definidas no protocolo.

Como citado anteriormente, a pesquisa foi realizada utilizando apenas bases nacionais (conferências e periódicos) voltados à Educação (Quadro 3). Nesta etapa, foi retornado apenas 1 estudo, no entanto, nas buscas manuais, utilizando o *Google Scholar*, foi encontrado mais 1 estudo, totalizando, desta forma 2 estudos que, após serem analisados pelos critérios e exclusão e inclusão, foram aprovados. Os Estudos Primários (EP) incluídos, podem ser visualizados no Quadro 8.

Quadro 8 – Lista de Trabalhos Incluídos.

	Trabalhos Incluídos	Fonte
EP.1	<i>Utilização de Hardware Legado para o Ensino de CAD.</i>	<i>(Beserra, 2014)</i>
EP.2	<i>Reutilização de Equipamento Legado na Criação de um Cluster.</i>	<i>(Pinheiro, 2013)</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.4. Extração dos Dados

Esta etapa consiste em organizar os dados extraídos para apresentação dos resultados que serviram como panorama geral e base para futuras análises. A base para as respostas às questões de pesquisa faz parte da lista dos trabalhos incluídos e selecionados no MSL, listados no Quadro 8.

4.7. Respostas às Questões de Investigação ou de Pesquisa.

Este trabalho responde as questões principais levantadas no protocolo deste Mapeamento Sistemático da Literatura como meio de investigar o estado da arte no âmbito de analisar as atividades e arquiteturas que tratam do reaproveitamento (ou legado) de equipamentos computacionais na montagem de arquiteturas de alto desempenho que possam ser aplicados ao ensino da Programação Paralela. A seguir, são apresentadas as respostas das questões de pesquisa, e as considerações dos autores a respeito delas.

QP: Quais as abordagens utilizadas são provenientes da montagem de cluster de computadores com equipamentos reutilizados no contexto da TI Verde?

Em [EP.1], é apresentada uma proposta de montagem de um cluster, utilizando máquinas físicas reaproveitadas, as quais iriam para descarte, utilizando um software virtualizador, o qual continha as máquinas virtuais em arranjo de cluster. Para este cluster, foram utilizadas

14 máquinas que não estavam mais sendo utilizadas e que, segundo os autores, estavam destinadas ao descarte.

Também em [EP.2], é descrita a montagem de um cluster, do tipo *Beowulf*, porém, baseado na concepção do cluster *Tiny HPC*, pois os nós clientes foram instalados sem disco rígido, e um nó mestre foi construído como servidor de boot, usando o protocolo PXE, o qual inicializava e controlava os nós clientes. Esta arquitetura foi desenvolvida utilizando hardwares reaproveitados que estavam armazenados em local inapropriado, o que foi necessário o desmonte das máquinas e o aproveitamento somente das placas-mãe, e das fontes de alimentação.

QS.1: Qual o contexto (ensino, pesquisa, extensão, administração) de aplicação da abordagem encontrada?

Tanto no estudo [EP.1], quanto no estudo [EP.2] são descritas a reutilização de computadores que estavam parados e seriam descartados. Os clusters montados foram utilizados no contexto do ensino de disciplinas que envolvem conceitos relacionados à Programação Paralela e a Sistemas Distribuídos. No entanto, no estudo [EP.2] também relata a possibilidade do mesmo ser utilizado em pesquisas que não necessite de um grande poder computacional.

QS.2: Quais atividades de ensino foram beneficiadas com o reaproveitamento e consequente montagem da arquitetura paralela?

As atividades beneficiadas foram disciplinas no curso de graduação. Em [EP.1], foi utilizado em disciplinas de Tópicos de Computação de Alto Desempenho, além de transmitir, aos envolvidos no projeto, princípios de TI Verde, no reuso. Já no estudo [EP.2], foi destacado o uso, no ensino da disciplina de Sistemas Distribuídos, onde, através do uso de uma plataforma distribuída e controlada por *testbed*, os alunos podem realizar experimentos práticos, através do uso de algoritmos para a sincronização de relógios, de coordenação e acordo distribuído, como exclusão mútua e eleição.

QS.3: Quais as instituições de ensino e/ou os cursos que apoiaram, ou foram beneficiadas com a montagem da arquitetura paralela?

Em [EP.1], o cluster foi construído na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), campus Garanhuns, porém, não é identificado, ou citado, o curso que utiliza o cluster. No estudo [EP.2] a arquitetura foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), campus Caicó, no curso de Sistemas de Informação.

QS.4: Quais os tipos de equipamentos foram reaproveitados, e não descartados?

Os estudos [EP.1] e [EP.2] relatam os mais variados tipos de equipamentos, desde placas-mãe, fontes de alimentação, monitores de vídeos, *switches*, até teclados e *mouses*. Na arquitetura montada no estudo [EP.1] os computadores eram heterogêneos, existiam tanto máquinas com processadores Intel *Pentium* 4, quanto máquinas com processadores AMD *Sempron*. Dessa forma, a frequência dos processadores variava de 533 MHz a 3.0 GHz, memória principal de 2 GB e discos rígidos com capacidade de 80 GB. Já no cluster desenvolvido em [EP.2] são utilizados processadores com frequência que variava de 333 MHz a 1.8 GHz.

QS.5: Quais os sistemas operacionais, bibliotecas, softwares e linguagens mais utilizados nas arquiteturas montadas?

Em [EP.1] cita que utilizou o sistema operacional Linux, distribuição CrunchBang¹ (baseado no *Debian*), além do virtualizador, VirtualBox². Possibilita a execução de aplicações que utilizem a biblioteca de passagem de mensagem MPI³ (*Message Passing Interface*). Já no estudo [EP.2], o cluster foi montado utilizando, também, o sistema operacional Linux, no entanto, não é descrita a distribuição utilizada. Também, aponta o uso da biblioteca de passagem de mensagem MPI, nos algoritmos que são utilizados, tanto no ensino, quanto na pesquisa.

QS.6: O cluster montado com equipamentos reutilizados possui algum apoio de algum órgão da instituição (Faculdade, Instituto, Reitoria) ou de pesquisa?

No estudo [EP.1], os autores relatam que tiveram o apoio do Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI), da Instituição que fazem parte, como uma forma de conseguir os equipamentos utilizados na montagem do cluster, bem como, o fornecimento de bancos de memórias novos. Já no estudo [EP.2], os autores não deixam claro se o projeto teve, ou tem o apoio de algum órgão da Instituição ou externo.

5. Discussão das Atividades e Arquiteturas Encontradas

Os estudos identificados pelo MSL destacam o uso do reaproveitamento de equipamentos que estavam parados, por não serem mais úteis, devido a limitada capacidade de processamento. Nos conceitos e procedimentos da TI Verde, esses equipamentos podem ser redirecionados e reaproveitados de outras formas. E nos trabalhos listados neste mapeamento, os autores refletem essa preocupação, na montagem de clusters, que foram utilizados no ensino de disciplinas que necessitavam desse tipo de arquitetura. Com isso, o reaproveitamento de hardwares obsoletos, que são destinados muitas vezes ao descarte, por empresas ou instituições de ensino, pode ser considerado uma política socioeducativa de TI Verde (Beserra, 2014), contribuindo, tanto para a redução do lixo eletrônico, como também, na reutilização, que contribuirá, de forma consistente, no ensino de disciplinas que possuem como base, os conceitos da Programação Paralela e de Sistemas Distribuídos.

Outro ponto que merece destaque no mapeamento sistemático realizado, é que os estudos selecionados são oriundos de universidades federais, e de campi localizados no interior dos seus respectivos estados, ou seja, onde os recursos acabam sendo, de alguma forma, mais escassos para a aquisição de equipamentos de médio e grande porte, como é o caso de um supercomputador. Percebe-se dessa forma que, com soluções simples e práticas, utilizando equipamentos que seriam descartados, pode-se contribuir tanto para a redução do lixo eletrônico, como também, implementar soluções úteis tanto para o ensino, quanto para a pesquisa.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O descarte consciente de equipamentos é um debate que chegou em todas as áreas do conhecimento, e não poderia ser diferente com a Tecnologia da Informação. Com o rápido avanço da tecnologia, os equipamentos na área de TI acabam por torna-se obsoletos com pouco tempo de uso, e esses equipamentos, muitas vezes, são destinados ao descarte por

¹ <https://crunchbangplusplus.org/>

² <https://www.virtualbox.org/>

³ <https://www.open-mpi.org/>

não mais atenderem as necessidades dos usuários. No entanto, em muitas situações, esses equipamentos podem ser reutilizados, evitando dessa forma, o descarte. E esse reuso está sendo realizado por algumas instituições de ensino superior de forma consciente, prática e útil, na montagem de arquiteturas de alto desempenho, os chamados cluster de computadores, que são utilizados no processo de ensino-aprendizagem de disciplinas como a Programação Paralela e Sistemas Distribuídos.

Com isso, ganha-se na reutilização de equipamentos, que não serão descartados, e ganha-se, também, no incentivo ao aprendizado de disciplinas que requerem um ambiente específico para o ensino, fazendo com que os alunos possam interagir e construir códigos que serão executados em arquiteturas próprias, facilitando o entendimento dos conceitos e bibliotecas, bem como, aumentando o interesse por esse ramo da Computação.

O Mapeamento Sistemático desenvolvido neste trabalho, apresentou soluções simples e possíveis, para a disponibilização de clusters que podem ser utilizados como ferramentas para o ensino, bem como, para a realização de pesquisas que precisam de um pouco mais de poder computacional, e isso de uma forma consciente, evitando descartes, utilizando conceitos e práticas da TI Verde.

6.1. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um estudo de caso, com a construção de uma estrutura de alto desempenho, com computadores que seriam descartados, para que possa ser utilizado para o ensino de disciplinas como Programação Paralela, Sistemas Distribuídos e afins, bem como, auxiliar no desenvolvimento de pesquisas que necessitem desse tipo de tecnologia, em um Instituto Federal no interior do estado dos autores.

Essa necessidade se faz presente pela ausência de tecnologias dessa natureza nas instituições de ensino da região, tanto pelo alto custo na aquisição desse tipo de arquiteturas, como também, pela falta de incentivos aos alunos, no aprendizado e na elaboração de códigos paralelos e distribuídos. E a construção de sistemas de alto desempenho na região, tem como objetivos, tanto de dar uma nova utilização aos equipamentos que seriam descartados, muitas vezes de forma inapropriada, como também, de incentivar alunos e professores a desenvolverem, cada vez mais, pesquisas nesta atual e importante área do conhecimento da Computação, que é a Computação de Alto Desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. (2008). *The TinyHPC Cluster and Operating System. Technical Report, Duke University*. Disponível em: <http://people.duke.edu/~mat39/tinyhpc.html>.

BACHIEGA, N. G.; SOUZA, P. S. L., BRUSCHI, S.; SOUZA, S. R. S. (2018), Um Panorama do Ensino de Programação Paralela e Distribuída em Universidades Brasileiras. VII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE). 29 de outubro a 01 de novembro. Fortaleza – CE.

BESERRA, D., KARMAN, R., OLIVEIRA, F., BORBA, A., ARAUJO, J., ARAÚJO, A., FERNANDES, F. (2014), *Utilização de Hardware Legado para o Ensino de CAD*. International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE). Vol.3, Nº 1, dezembro 2014 – p17.

CABREJOS, L. J. E. R., VIANA, D., SANTOS, R. P. (2018). *Planejamento e Execução de Estudos Secundários em Informática na Educação: Um Guia Prático Baseado em Experiências*. VII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)/VII Jornada de Atualização em Informática na Educação (JAIE). 29/out a 01/nov. Fortaleza-CE.

KITCHENHAM, B. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*, Technical Report EBSE-2007-01, Department of Computer Science Keele University, Keele.

LUNARDI, G. L., SIMÕES, R., FRIO, R. S. (2014), *TI Verde: Uma Análise dos Principais Benefícios e Práticas Utilizadas pelas Organizações*. READ. Edição 77, Nº 1, pp. 1-30.

MAFRA, S.; TRAVASSOS, G. (2006). *Estudos Primários e Secundários apoiando a busca por Evidencia em Engenharia de Software - Relatório Técnico: RT-ES-687/06 – Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro*.

MARTINS, J. B. (2020). *TI Verde e o Meio Ambiente: Benefícios para a Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos*. Revista Multidisciplinar Humanidades e Tecnologias (FINOM). Vol. 24. 2020.

PEREIRA, E. F. DE O.; ARAÚJO, J. S.; SILVA, SAWAKI, W. DE M.; OLIVEIRA, S. R. B. (2019). Revisão Sistemática da Literatura na Computação Forense: Um Estudo de Caso Aplicado na Recuperação de Dados em Mídias Digitais. 16th *International Conference on Information Systems & Technology Management (CONTECSI) 2019*. DOI: 10.5748/16 Contecsi/sec - 6138.

PINHEIRO, D. R. S., MEDEIROS, A. C. S., BARBOSA, L. P. A., MEDEIROS, J. P. S., BORGES NETO, J. B. (2013), *Reutilização de Equipamento Legado na Criação de um Cluster*. Anais da VI Escola Potiguar de Computação e suas Aplicações (EPCA). 20 a 22 de novembro de 2013. Mossoró – RN.

SANTOS, G. (2010). *Revisão Sistemática, Minicurso*. Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software – SBQS 2010, Belém – PA.

UTYIAMA, D. M. da S., PINTO, V. L. F., AMORIM, R. X., PASSOS, O. M., (2019). *Tecnologia da Informação Verde: Um Estudo sobre o Impacto da Computação no Meio Ambiente*. Anais da XIII Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. 21 a 26 de outubro de 2019. Itacoatiara – AM.