

Uma Abordagem de Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas de Softwares Embarcados Militares

Paulo Takachi Tsoucamoto¹, Johnny Cardoso Marques² e Adilson Marques da Cunha³

¹ ²EMBRAER, São José dos Campos/SP - Brasil

³Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo— O desenvolvimento de sistemas de softwares embarcados para aviões militares necessita certificações de agências reguladoras e deve cumprir com exigências de segurança e missão. Nos últimos anos, estes tipos de sistemas tornaram-se mais complexos, o que resultou na adoção de padrões de software mais rigorosos, tipicamente aqueles aplicados com sucesso na aviação civil, como a norma RTCA DO-178B/C. Tradicionalmente, as certificações militares para sistemas de softwares embarcados utilizavam apenas o padrão MIL-STD-498. Métodos ágeis foram desenvolvidos como uma alternativa aos métodos tradicionais orientados a planos. Este artigo resume alguns aspectos de um trabalho conduzido pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Ele apresenta a conceituação e implementação de uma abordagem para desenvolvimento de software inspirada em práticas ágeis, para fins de certificação e foi utilizada para desenvolver um computador de missão, em um estudo de caso no âmbito de certificação militar, visando sua verificação e validação.

Palavras-Chave— certificação, software militar, método ágil.

I. INTRODUÇÃO

Desde 1994, a certificação de softwares militares embarcados vem se baseando no padrão militar MIL-STD-498 [1] e em processos de desenvolvimentos de softwares militares. Este padrão pode ser aplicado em qualquer fase do ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas de softwares. Entretanto, ele não tem sofrido revisões nem atualizações desde sua primeira publicação.

Nas duas últimas décadas, os softwares militares embarcados vêm se tornando cada vez mais complexos e críticos quanto à segurança (*safety*). Estes aumentos de complexidades e criticidades vêm tornando seus desenvolvimentos baseados em normas e padrões cada vez mais rígidos.

A partir desses aumentos de complexidades e criticidades, a indústria aeronáutica vem adotando também, para o desenvolvimento de Softwares Militares Embarcados, a norma civil RTCA DO-178B/C [2], [3], elaborada originalmente para suportar desenvolvimentos e certificações de softwares civis embarcados em aeronaves. Tanto o padrão MIL-STD-498 quanto a norma RTCA DO-178B/C, embora não prescrevam

um ciclo de vida, lembram fortemente o ciclo de vida em Cascata, proposto por [4].

Wieggers e Beatty (2013) consideram o desenvolvimento de Software uma tarefa difícil e consumidora de recursos. Este cenário tem se agravado, na medida em que projetos de softwares tornam-se cada vez maiores e mais complexos. Neste sentido, os autores deste artigo acreditam que mecanismos para aumento da agilidade no desenvolvimento, como a realização de investigações exploratórias utilizando e integrando métodos ágeis em ambientes regulados por normas são necessários.

Este artigo apresenta uma síntese da abordagem denominada DASEM - Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas de Softwares Embarcados Militares, que atende aos requisitos de Certificação de Softwares Embarcados, aderentes ao padrão militar MIL-STD-498 e à norma civil DO-178B/C, utilizando práticas adaptadas do Método Ágil Scrum. O trabalho completo encontra-se em [5], onde foram identificados os seguintes objetivos: (i) definição de uma abordagem de referência para o desenvolvimento de sistemas de softwares embarcados militares; (ii) fornecimento de mapeamento de aderência dos artefatos e atividades da norma DO-178B/C e do padrão MIL-STD-498; e (iii) fornecimento de um conjunto de métricas obtidas utilizando PSM (*Practical Software Measurement*).

A Seção 2 descreve requisitos para certificações militares. As Seções 3 e 4 apresentam uma síntese dos Métodos Ágeis bem como uma visão geral de métricas apropriadas. A Seção 5 apresenta a abordagem proposta de DASEM. A Seção 6 apresenta a aplicação de DASEM em um estudo de caso. A Seção 7 contém as principais análises de resultados obtidos a partir deste trabalho. A Seção 8 sintetiza as principais conclusões, recomendações e sugestões ao se utilizar a abordagem proposta.

II. CERTIFICAÇÃO MILITAR

As aeronaves militares operam em níveis elevados de risco, conforme exigido por necessidades operacionais, e são obrigadas a transportar munções explosivas. Este requisito impede os militares de adotar regras de aeronavegabilidades civis. Por esta razão, existem numerosos sistemas de aeronavegabilidades militares semelhantes, mas muito distintos em todo o mundo [6], [7], [8].

Essas aeronaves possuem um conjunto de características bem definidas, diferente do transporte normal de passageiros.

¹P. Tsoucamoto, paulo.tsoucamoto@embraer.com.br, EMBRAER, São José dos Campos-São Paulo, Brasil.

²J. Marques, johnny.marques@embraer.com.br, EMBRAER, São José dos Campos-São Paulo, Brasil.

³A. Cunha, cunha@ita.br, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-São Paulo, Brasil.

Uma aeronave militar, quando projetada, normalmente atende a uma força militar de algum país. Assim, normalmente é definido um conjunto de normas entre fabricante e força militar, para definir o sigilo de informações de determinados sistemas embarcados [9].

Certificações militares direcionam comprovações de cumprimentos de requisitos de segurança (*safety*) e de missão. Cada país possui uma autoridade responsável por garantir a segurança da aviação militar. Por exemplo, nos Estados Unidos, o Departamento de Defesa (*Department of Defense* - DoD) é o órgão responsável por garantir a segurança da aviação.

No Brasil, a autoridade responsável pela certificação de aeronaves e sistemas embarcados militares é o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI). Ele avalia o desempenho, a segurança e a disponibilidade de produtos e sistemas aeroespaciais de interesse do Comando da Aeronautica (COMAER), exercendo as atividades de homologação/certificação e metrologia do setor aeroespacial.

O IFI provê apoio técnico e jurídico para o processo de transferência de tecnologias geradas nos Institutos do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) para as indústrias. Esse Instituto utiliza, como auxílio ao desenvolvimento de software, o padrão MIL-STD-498. Detalhes de interesse deste padrão aplicáveis a este artigo se encontram descritos a seguir.

A. O Padrão MIL-STD-498

O documento MIL-STD-498 define um padrão (*standard*) utilizado no processo de desenvolvimento de software, aplicável durante todo ciclo de vida de sistemas de softwares e estabelece requisitos uniformes para aquisição, desenvolvimento, modificação e documentação de software, definindo uma terminologia padronizada. Ele pode ser aplicado a qualquer tipo de software, incluindo softwares de aplicação, sistemas operacionais, *firmwares* e softwares reutilizáveis [1].

No padrão MIL-STD-498, requisitos possuem por definição, características de itens de sistemas ou software necessárias para adquirentes, enquanto projetos possuem, por definição, características que adquirentes se dispõem a deixar para os desenvolvedores. Esta ênfase em desempenho exigido pode permitir que desenvolvedores forneçam produtos de qualidade a custos reduzidos.

Ele também descreve os seguintes artefatos e termos técnicos de interesse deste artigo, que ajudam desenvolvedores à lidar com clientes e seus fornecedores. Nele, são descritos diversos templates denominados Descrições de Itens de Dados (*Data Item Descriptions* - *DIDs*). A Figura 1 apresenta uma visão geral dos templates dos documentos de Descrição de Itens de Dados (DIDs) gerados no padrão MIL-STD-498.

B. A Norma DO-178B/C

Aeronaves modernas vêm sendo projetadas para realizar operações críticas de segurança (*safety*) controladas por software. Agências responsáveis por segurança (*safety*) e controle destas aeronaves especificam requisitos cada vez mais rigorosos e criam maiores exigências para as certificações de seus

MIL-STD-498 Data Item Descriptions						
PLANS	CONCEPT/ REQUIREMENTS	DESIGN	QUALIFICATION TEST PRODUCTS	USER/ OPERATOR MANUALS	SUPPORT MANUALS	SOFTWARE
SDP	OCD	SSDD	STP	SUM	CPM	SPS
SIP	SSS	SDD	STD	SCOM	FSM	SVD
STRP	SRS	DBDD	STR	SIOM		
	IRS	IDD		COM		

Fig. 1 - Visão Geral dos Documentos de Descrições de Itens de Dados (*Data Item Descriptions-DIDs*) previstos no padrão MIL-STD-498 [1].

softwares embarcados. Agências reguladoras, responsáveis pelas certificações de aeronaves, baseiam-se em políticas e decisões regulatórias sobre recomendações da Comissão Radio Técnica para Aeronáutica (*Radio Technical Commission for Aeronautics* - RTCA).

A Norma RTCA DO-178B/C descreve uma metodologia de desenvolvimento sequencial para software aviônico [10]. Esta metodologia de desenvolvimento e verificação baseia-se em requisitos, incluindo métodos alternativos para satisfação de objetivos. Esta norma representa um quadro geral de desenvolvimento de software consistente e de alta confiabilidade (*reliability*).

Essa norma tem por objetivos fornecer diretrizes para a produção de softwares de sistemas e equipamentos embarcados que exercem suas funções pretendidas com níveis de confiabilidade (*reliability*) e segurança (*safety*), em conformidade com requisitos de aeronavegabilidade [2] [3].

III. OS MÉTODOS ÁGEIS

Na primeira década do século 21, o desenvolvimento de software envolveu, principalmente, aqueles que apoiavam métodos ágeis e os que apoiam o ciclo de vida tradicional com abordagem cascata ou *waterfall* [11].

Os métodos ágeis foram desenvolvidos como alternativa para os métodos dirigidos por planos e processos de desenvolvimento, envolvendo documentação pesada. Esta necessidade surgiu com a velocidade de mudanças das novas tecnologias e as novas demandas colocadas em desenvolvimentos de sistemas de software para entregar produtos mais rapidamente, de forma mais eficiente e com melhor qualidade.

O Manifesto Ágil foi criado por um grupo de dezessete proponentes, durante uma reunião no início de 2001, para discutir novos métodos de desenvolvimento de software. Muitos destes métodos apresentam valores, práticas e crenças comuns. O Manifesto para o Desenvolvimento Ágil de Software baseia-se na declaração de valores de desenvolvimento compartilhados considerados comuns a todos os métodos ágeis, apresentados na Figura 2.

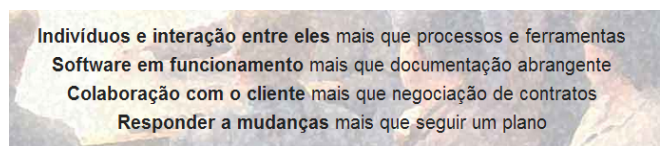


Fig. 2 - Valores e Princípios do Manifesto Ágil [12].

Vários defensores dos métodos ágeis concordaram com esse manifesto [13]. Ele sintetiza as origens de um conjunto de metodologias leves, como o Scrum [14], *Extreme Programming*

(XP) [15], Crystal [16], *Feature Driven Development* (FDD) [17], *Test Driven Development* (TDD) [18], *Dynamic Software Development Method* (DSDM) [19] e *Adaptive Software Development* (ASD) [20].

A. O Método Ágil Scrum

O Scrum é um método de apoio ao gerenciamento de projetos complexos e ao desenvolvimento de produtos. Ele é conhecido como um método ágil, com a premissa de ser um processo iterativo e incremental para desenvolvimento de software, trazendo uma nova dimensão na capacidade de resposta e adaptabilidade da gestão dos processos [21].

Em projetos que executam o método Scrum, existem três papéis, três artefatos e quatro cerimônias principais:

Quanto aos três Papéis do Scrum - o Dono do Produto (Product Owner) é responsável pelo valor de negócio do produto; o Scrum Master serve aos outros papéis com processos e iniciativas para melhorar o trabalho; e os demais integrantes da Equipe de Desenvolvimento (Equipe Scrum), se auto-organizam para realizar entregas de valor, por meio do desenvolvimento de softwares com qualidade.

Quanto aos três Artefatos do Scrum - o Backlog do Produto serve para listar uma visão atualizada dos requisitos desejados para o produto; o Incremento do Produto é utilizado para representar as funcionalidades dos softwares que já estejam prontos; e os Backlogs das Sprints representam os planejamentos estratégicos e táticos das próximas Sprints, em um nível mais micro de abstração.

Quanto às quatro Cerimônias do Scrum - a Reunião de Planejamento da Corrida (*Sprint Planning*) é a reunião na qual se torna conhecida e planejada a meta de uma Sprint; As Reuniões Diárias (*Daily Meetings*) serve para elevar gradativamente o nível de auto-organização da Equipe de Desenvolvimento; as Revisões das Corridas (*Sprint Reviews*) são reuniões em que produto e o projeto são inspecionados e adaptados; e as Retrospectivas das Corridas (*Sprint Retrospectives*) representam oportunidades para inspeções e adaptações dos processos empíricos utilizados no Scrum.

IV. VISÃO GERAL DE MÉTRICAS

Métricas são úteis para determinar, quantitativamente, a extensão em que o projeto, o processo e/ou o produto de software têm com certos atributos. Isto inclui a fórmula para determinar o valor da métrica como também a sua forma de apresentação e as diretrizes de utilização e interpretação dos resultados obtidos, no contexto do ambiente de desenvolvimento de software [22].

Será apresentada e utilizada a abordagem de Métrica Prática de Software (*Practical Software Measurement - PSM*) [23], também descrita na norma internacional ISO/IEC 15939 [24], para apoiar a análise de resultados da aplicação da abordagem proposta.

Segundo [25], o modelo de processo serve como guia para a implementação da métrica PSM. Como mostrado na Figura 3 [26], a PSM define quatro atividades de medições. As duas primeiras, “Planejar Medição” e “Executar Medição”, formam o núcleo do processo de medição que diretamente atende aos

tomadores de decisões. A terceira atividade, “Estabelecer e Sustentar o Comprometimento”, inclui as tarefas que estabelecem o processo de medição dentro de uma organização. A quarta atividade, “Avaliar Medição”, identifica tarefas de avaliação e melhoria para o programa de medição como um todo.

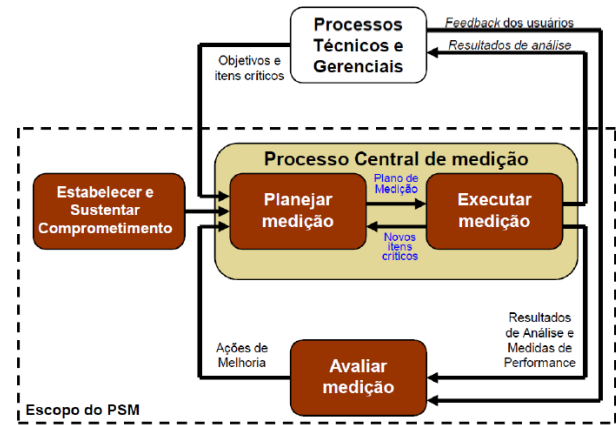


Fig. 3 - Processo de Medição da Abordagem de Métrica Prática de Software (*Practical Software Measurement-PSM*) [26].

V. A ABORDAGEM DE DASEM

A abordagem de **Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas de Softwares Embarcados Militares (DASEM)** baseia-se na revisão bibliográfica descrita na seção anterior, para definir processos, atividades, papéis e artefatos necessários ao desenvolvimento inspirado em práticas ágeis para sistemas de softwares embarcados militares certificáveis.

Os requisitos de certificação de softwares embarcados militares anteriormente descritos são atendidos por esta abordagem e possuem compatibilidade com o padrão MIL-STD-498, utilizando os objetivos da norma DO-178B/C. A Figura 4 apresenta uma visão geral do contexto em que a abordagem proposta de DASEM se insere.

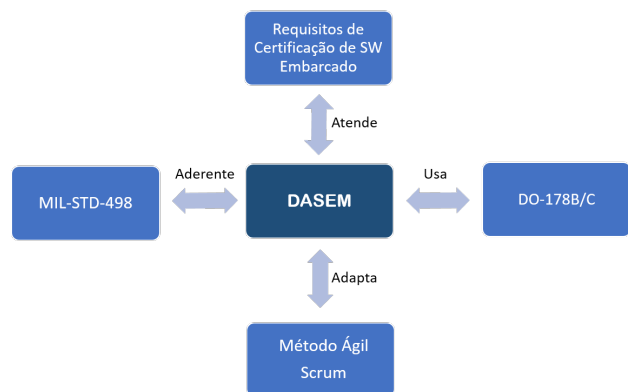


Fig. 4 - Visão Geral do Contexto em que a Abordagem Proposta de DASEM se insere.

A abordagem de DASEM apresenta adaptações de utilização e aplicação das definições de *Sprints* e *User Stories* do método

Scrum. Para melhorar o acompanhamento de tarefas, o processo Cascata (*waterfall*) foi dividido em Iterações inspiradas em Sprints do Método Scrum. Cada Iteração possui duração de 2 semanas e as tarefas são finalizadas até o fim de cada Iteração.

Essas Iterações não são consideradas *Sprints* do Scrum. Uma vez que na abordagem de DASEM, as Iterações possuem partes de ciclos de desenvolvimento.

Cada processo de desenvolvimento de software da norma DO-178B/C representa um Grupo de Tarefas na abordagem proposta DASEM. Os Grupos foram classificados nos seguintes processos de desenvolvimento: Requisitos, *Design* ou Projeto, Codificação, Verificação, Integração, Planejamento, Garantia da Qualidade e Gerenciamento de Configuração. No DASEM, os Grupos podem ser entregues, após um conjunto de Iterações. Com as Iterações sendo finalizadas, a equipe amadurece mais sobre cada um dos Grupos, através de desenvolvimento e *feedbacks* dos clientes.

Ao invés do produto ser particionado funcionalmente em *User Stories*, ele foi particionado em componentes de alto nível e cada componente foi dividido em Tarefas. Quando concluídas todas as Tarefas planejadas de um Grupo, pode ser criada uma Linha Base (*Baseline*) para o congelamento, controle de mudanças e disponibilizada para auditoria, garantindo-se a qualidade e conformidade das atividades realizadas e produto entregue.

As Tarefas têm como principal objetivo, entregar algo de valor para o cliente. Elas descrevem as necessidades do cliente e cada estória pode conter uma coleção de tarefas. A tarefa descreve como a funcionalidade será implementada. Ela representa o trabalho real e nela tem-se uma granularidade maior.

As Tarefas podem ser descritas utilizando-se uma linguagem simples que delinea o resultado desejado. Previamente criadas pelo *Product Owner*, a equipe coletivamente, deve decidir sobre requisitos e detalhamento do escopo, ajudando a estabelecer os itens de implementação para as Tarefas e próxima Iteração. A abordagem proposta encontra-se representada na Figura 5 com suas três camadas: Grupos; Tarefas; e Iterações.

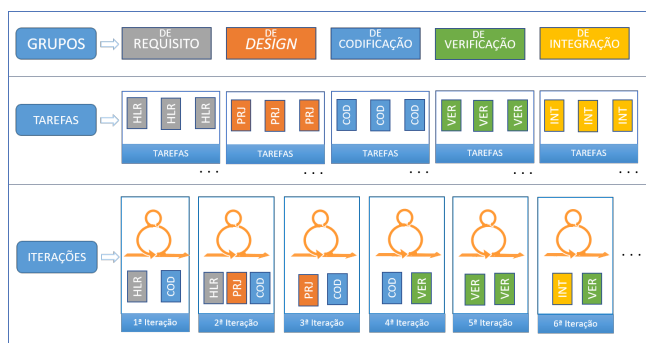


Fig. 5 - Visão Geral da Abordagem de Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas Embarcados Militares (DASEM).

A. Iterações da Abordagem de DASEM

A abordagem de DASEM utiliza uma adaptação do método ágil Scrum e suas boas práticas devendo ser aplicada nas

entregas periódicas de valor para o cliente. Nestas entregas, ela envolve 6 tipos de Iterações, conforme mostrado na Tabela I.

TABELA I
ITERAÇÕES DE DASEM E SEUS ENFOQUES

Iteração	Enfoque
HLR-COD	Especificação dos Requisitos HLR e Codificação
HLR-PRJ-COD	HLR, Definição da Arquitetura e Codificação
PRJ-COD	Elaboração de LLR e Codificação
COD-VER	Codificação e Verificação de HLR
VER-VER	Verificação de Arquitetura e LLR
INT-VER	Integração de Sw e Verificação do Código-objeto

VI. ESTUDO DE CASO

O sistema computadorizado objeto do estudo de caso escolhido para este trabalho, denominado Computador de Missão, foi responsável pelo gerenciamento dedicado e independente de diversos subsistemas instalados em uma plataforma aviônica militar. Neste estudo de caso, envolvendo uma aeronave militar fictícia, o computador de missão deve gerenciar cada um de seus subsistemas: de navegação, de comunicação, de armamentos, entre outros de interesse em uma missão dedicada pelo tipo da aeronave considerada.

O “Sistema de Computador de Missão”, objeto deste estudo de caso, hospedou um sistema computacional chamado “Software de Missão” considerado, de acordo com o Padrão MIL-STD-498, como um Item de Configuração de Software de Computador (*Computer Software Configuration Item - CSCI*), onde foi aplicada a abordagem de DASEM proposta neste artigo.

Ainda de acordo com a nomenclatura prevista no Padrão MIL-STD-498, o “CSCI - Software de Missão” da aeronave fictícia considerada foi dividido em Componentes de Software de Computador (*Computer Software Components - CSCs*) associados, por exemplo, a funções de comando, controle e indicação de Rádios, Radares, Câmeras e Gravadores considerados como Unidades de Software de Computador (*Computer Software Units - CSUs*), conforme mostrado na Figura 6.

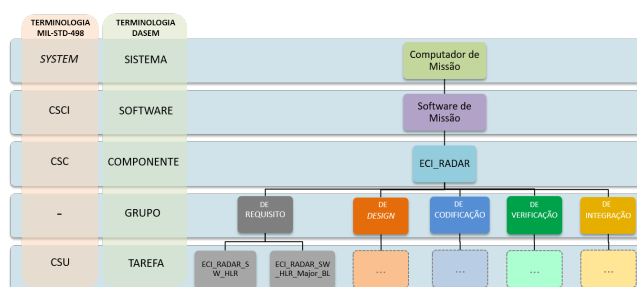


Fig. 6 - Exemplo de Estrutura de Software do Computador de Missão.

O “CSCI - Software de Missão” da aeronave fictícia foi submetido ao processo de certificação exigido pela autoridade brasileira responsável por certificar aeronaves e sistemas embarcados militares, o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI). Para o cumprimento de requisitos do processo de certificação do software embarcado militar desenvolvido,

aplicou-se a abordagem de DASEM proposta neste artigo. O estudo de caso do “CSCI - Software de Missão” contou com uma Equipe de Desenvolvimento envolvendo as seguintes características mostradas na Tabela II.

TABELA II
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO

Característica	Descrição
Qtd. de Pessoas na Equipe	9
Distância física da Equipe	Co-localizado
Idioma	Igual
Formação	Todos engenheiros
Conhecimento Técnico	0-2 anos (1) 3-4 anos (4) e acima de 5 (4)
Product Owner	1 pessoa e não faz parte da Equipe
Scrum Master	1 pessoa e faz parte da Equipe
Equipe Scrum	8 pessoas

Cada Iteração teve duração média de 10 dias úteis, conforme mostrado na Figura 7.

Linha de Tempo (Timeline) Típica de uma Iteração

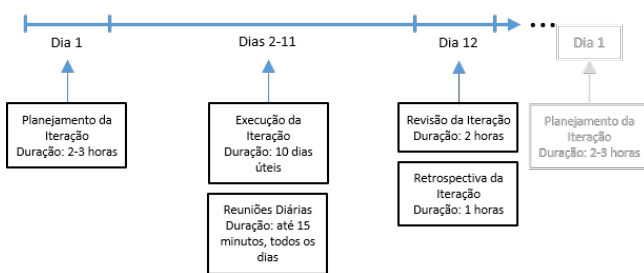


Fig. 7 - Duração média de típica Iteração utilizando a abordagem de DASEM

VII. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS TAREFAS DE DASEM E AS ATIVIDADES DA NORMA DO-178B/C E DO PADRÃO MIL-STD-498

A abordagem de DASEM define as principais Tarefas deste artigo, que possuem equivalência com a Norma DO-178B/C e o Padrão MIL-STD-498.

A Figura 8 apresenta um comparativo entre os níveis de criticidade: da Norma DO-178; do Padrão MIL-STD-498; e da Abordagem de DASEM.

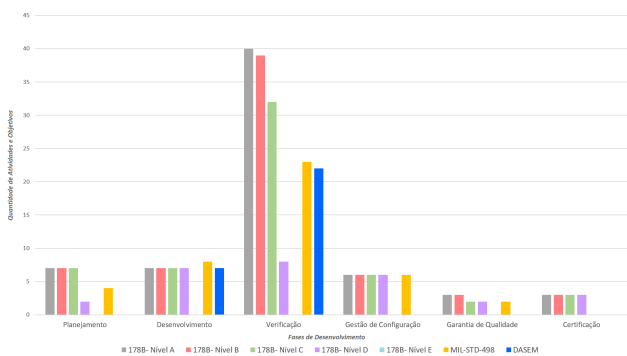


Fig. 8 - Comparação entre a Norma DO-178 o Padrão MIL-STD-498 e a Abordagem de DASEM

Como mostrado na Figura 8, as atividades da abordagem de DASEM encontram-se concentradas nos processos de Desenvolvimento e Verificação de software.

A. Análise de Resultados Obtidos com a Aplicação do Processo de Medição PSM

No Processo de Métricas Práticas de Software (*Practical Software Measurements - PSM*) foram utilizadas duas métricas identificadas como M1 e M2. A métrica M1 foi utilizada para avaliar o progresso do cronograma estipulado e a sua aplicação mostrou influência direta do cumprimento de metas e prazos no desenvolvimento de Tarefas das Iterações. Através de um cronograma mensal, foram realizadas medidas percentuais de entregas cumpridas baseadas nos planejamentos das Iterações.

Os cronogramas das Iterações, elaborados inicialmente pelo *Product Owner*, mostraram o planejamento antecipado das atividades e entregas, ao longo do projeto. Na abordagem de DASEM, os cronogramas serviram para atualizar, periodicamente, o *Product Backlog* e suas Tarefas correspondentes as entregas planejadas e executadas pela Equipe de Desenvolvimento Scrum.

Todos os meses, a cada Revisão da Iteração, o cronograma foi medido, considerando-se a quantidade de entregas cumpridas em relação a quantidade de entregas planejadas.

A Figura 9 mostra a aplicação da métrica “Entregas Cumpridas” no desenvolvimento do “CSCI - Software de Missão”, utilizando-se a abordagem de DASEM no estudo de caso, onde se constataram aumentos, logo após a sua implantação. Aplicou-se o período de medições de 6 meses antes e 6 meses após a implantação da abordagem de DASEM, respectivamente, nos anos de 2014 e 2015.

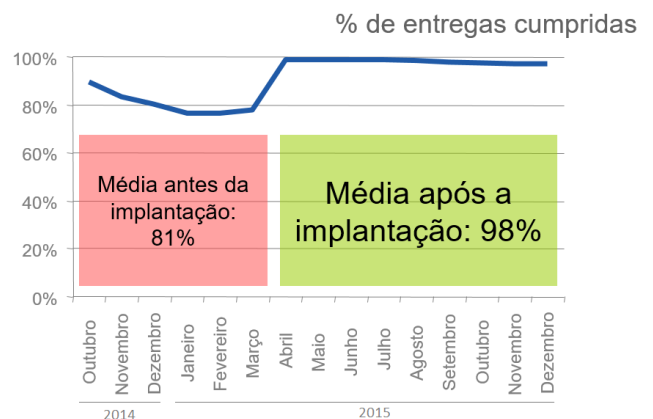


Fig. 9 - Medição de Cronograma e Progresso - M1

Note-se que, ao se utilizar a abordagem de DASEM no estudo de caso, a média percentual de “Entregas Cumpridas” passou de 81% para 98% nos meses seguintes a sua implantação.

A métrica M2 foi utilizada para monitorar o trabalho e observar o atendimento aos requisitos de software, por meio de rastreabilidade de requisitos. Esta métrica teve por objetivo monitorar o número de defeitos encontrados durante as atividades de teste de software. Posteriormente, as correções

dos defeitos encontrados foram analisadas e executadas pela Equipe de Desenvolvimento Scrum.

A Figura 10 apresenta a aplicação da métrica “número de defeitos por teste de software” e uma diminuição da quantidade de defeitos no estudo de caso com a implantação da abordagem de DASEM. O período considerado de medições foi de 6 meses antes da implantação e 6 meses após a implantação.

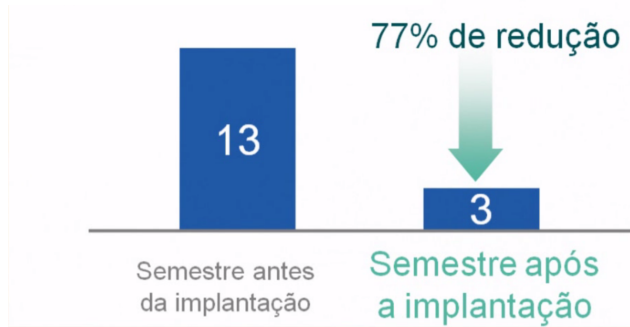


Fig. 10 - Medição de Qualidade do Produto - M2

Note-se na Figura 10 que, ao se utilizar a abordagem de DASEM, o desenvolvimento do estudo de caso continha um total de 13 itens de defeitos abertos e nos 6 meses seguintes a sua implantação, apenas um total de 3 itens de defeitos ocorreram, verificando-se assim a efetividade de sua implantação.

VIII. CONCLUSÃO

Este artigo teve por objetivo apresentar uma proposta de abordagem para o Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas de Softwares Embarcados Militares denominada DASEM, visando atender aos requisitos de certificação de software embarcado aderente ao Padrão MIL-STD-498 e a Norma Civil DO-178B/C, utilizando práticas adaptadas do Método Ágil Scrum.

Durante a sua elaboração, estruturou-se um mapeamento de aderências das atividades da Norma DO-178B/C e do Padrão MIL-STD-498 descrito na Seção 7. A abordagem DASEM encontra-se compatível estes dois documentos.

Para propiciar a verificação e validação da abordagem de DASEM, foi implementado um estudo de caso de desenvolvimento do “CSCI - Software de Missão”. Os resultados da aplicação desta abordagem neste estudo de caso, mostraram ser apropriados, obtendo-se sucesso expressivo quanto às medições utilizando a PSM, através de duas métricas identificadas M1 e M2 respectivamente.

Em função desses resultados alcançados neste artigo, recomenda-se que a abordagem de DASEM também seja exercitada em desenvolvimentos de softwares embarcados de outros domínios de conhecimento, para a verificação e validação de sua eficiência, que necessitem de certificações de softwares emitidos por órgãos reguladores.

Como sugestão para pesquisas futuras, sugere-se a adaptação e extensão da abordagem de DASEM para

certificação de desenvolvimento de sistemas completos, incluindo partes eletro-eletrônicas, considerando-se Itens de Configuração de Hardware (*Hardware Configuration Index - HwCI*) do Padrão MIL-STD-498.

Finalmente, sugere-se verificar a eficiência da aplicação da abordagem de DASEM utilizando-a também em outros métodos ágeis ainda não avaliados como *Crystal*, *Feature Driven Development (FDD)*, *Test Driven Development (TDD)*, *Dynamic Software Development Method (DSDM)* e *Adaptive Software Development (ASD)*.

REFERÊNCIAS

- [1] DOD. Military standard software development and documentation. AMSC No. N7069, January 1994.
- [2] RTCA/DO-178B. Software considerations in airborne systems and equipment certification. RTCA, Inc., December 1992.
- [3] RTCA/DO-178C. Software considerations in airborne systems and equipment certification. RTCA, Inc., December 2012.
- [4] ROYCE, W. W. et al. Managing the development of large software systems. In: LOS ANGELES. *proceedings of IEEE WESCON*. [S.l.], 1970. v. 26, n. 8, p. 1–9.
- [5] TSOUCAMOTO, P. T. *Uma Abordagem de Desenvolvimento Inspirada em Práticas Ágeis para Sistemas de Softwares Embarcados Militares*. Dissertação (Mestrado) — ITA, 2017.
- [6] ORGANISATION, I. C. A. Doc 9735-safety oversight audit manual. *Internation Civil Aviation Organisation (ICAO)*, 2006.
- [7] AUTHORITY, D. A. AAP 7001.053 (AM1): *Technical Airworthiness Management Manual*. 2012.
- [8] REGULATIONS, A. O. Civil aviation (rules of the air) regulations (In. 2014/256). Citeseer, 2014.
- [9] MARQUES, J. C.; DIAS, L. A. Mitigação de riscos de certificação civil em um processo de certificação de aeronave militar: Uma abordagem para software embarcado. *Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa - ITA*, 2010.
- [10] JACKLIN, S. A. Certification of safety-critical software under do-178c and do-278a. In: *AIAA Infotech@ Aerospace Conference, Garden Grove, CA*. [S.l.: s.n.], 2012.
- [11] ORR, K. Cmm versus agile development: Religious wars and software development. *Agile Project Management Executive Report*, v. 3, n. 7, 2002.
- [12] AGIL, M. Disponível em <http://www.agilemanifesto.org>. Acesso em, v. 11, 2009.
- [13] BECK, K. et al. Manifesto for agile software development. 2001.
- [14] SCHWABER, K.; BEEDLE, M. *Agile Software Development with Scrum*. [S.l.]: Prentice Hall Upper Saddle River, 2002.
- [15] BECK, K. *Extreme programming explained: embrace change*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2000.
- [16] COCKBURN, A. *Crystal Clear: A Human-powered Methodology for Small Teams*. [S.l.]: Pearson Education, 2004.
- [17] PALMER, S. R.; FELSING, M. *A Practical Guide to Feature-driven Development*. [S.l.]: Pearson Education, 2001.
- [18] ASTELS, D. *Test driven development: A practical guide*. [S.l.]: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.
- [19] STAPLETON, J. *DSDM, Dynamic Systems Development Method: The Method in Practice*. [S.l.]: Cambridge University Press, 1997.
- [20] HIGHSMITH, J. *Adaptive Software Development: A Collaborative Approach to Managing Complex Systems*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2013.
- [21] SCHWABER, K. *Agile project management with Scrum*. [S.l.]: Microsoft press, 2004.
- [22] DASKALANTONAKIS, M. K. A practical view of software measurement and implementation experiences within motorola. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 18, n. 11, p. 998–1010, 1992.
- [23] MCGARRY, J. *Practical Software Measurement: Objective Information for Decision Makers*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2002.
- [24] ISO, I. Iec 15939: 2002 software engineering: Software measurement process. *International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*, Geneva, 2002.
- [25] YELISETTY, S. M. *Um Conjunto de Métricas de Conformidade para Projetos de Desenvolvimento de Software Aeronáutico Embarcado*. Dissertação (Mestrado) — ITA, 2015.
- [26] AGUIAR, M. *Gerenciamento Objetivo de Projetos com PSM*. [S.l.]: Qualified PSM Instructor. TI Métricas, 2009.