

MODELO DE INTEGRAÇÃO PARA INSPEÇÃO EM MALHA FECHADA ADERENTE A STEP-NC

Cristhian Ivan Riaño Jaimes¹, cristhianivanrj@aluno.unb.br

Joao Carlos Espindola Ferreira², j.c.ferreira@ufsc.br

Julio Cesar Ticona Benavente², metrojulio@yahoo.es

Alberto J. Alvares¹, alvares@AlvaresTech.com

¹Universidade de Brasília, CEP 70855-530 Brasília - DF – Brasil.

²Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil

Resumo: O padrão STEP-NC permite trocar e compartilhar dados de uma peça em todas as fases do processo de produção e com as diferentes tecnologias envolvidas. Este artigo apresenta a proposta de um novo modelo de referência de sistema integrado CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI (Projeto, Planejamento de Processo, Planejamento de Inspeção, Manufatura e Inspeção Auxiliados por Computador) para a realimentação do processo de manufatura, com base na inspeção em malha fechada aderente ao padrão STEP-NC (ISO 14649). Aborda-se neste artigo a implementação dos protocolos de aplicação AP238 e AP219 e modelos AAM (Application Activity Model) do STEP-NC para estruturar a informação e o fluxo de dados que apoiam as atividades funcionais no modelo criado. O modelo de sistema integrado CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI é analisado, discutido e exposto em detalhes, usando o IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) para a modelagem funcional e o EXPRESS (parte 21 da norma ISO 10303) para a modelagem informacional. É proposta uma implementação computacional baseada no sistema STEP Modeler desenvolvido na UFSC, incorporando novas funcionalidades associadas à inspeção em malha fechada com base na análise do resultado da inspeção gerada por uma Máquina de Medição por Coordenadas. O sistema integrado permite atingir a chamada Manufatura em Malha Fechada, fechando o laço de controle no chão-de-fábrica associado ao processo de fabricação.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Inspeção assistida por computador (CAI), Manufatura avançada, Planejamento de inspeção assistida por computador (CAIP), STEP-NC.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços contínuos na ciência e novas tecnologias de medição causam mudanças substanciais em diferentes áreas. Os sistemas de manufatura recebem a maior parte dos resultados tecnológicos para conseguir superar limitações de operação. Entre os termos com tendência crescente que vinculam as tecnologias digitais com sistemas de fabricação estão, indústria 4.0, indústria digital, manufatura avançada, indústria integrada e manufatura inteligente. Estes termos compartilham as bases da nova revolução industrial. A quarta revolução industrial busca adaptar os atuais processos industriais às necessidades de produção para proporcionar uma utilização eficiente de recursos. Suportado pela integração de tecnologias já em curso como a internet das coisas (*IoT*), arquiteturas na nuvem e tecnologias avançadas para gerenciar e analisar os dados, o objetivo proposto é digitalizar e compartilhar a informação gerada em cada um dos níveis de controle de automação industrial (Hermann, et al., 2016). Esta informação digitalizada irá incorporar funcionalidades avançadas em sistemas de manufatura tradicionais e aperfeiçoar processos industriais (Danjou, et al., 2015).

Na perspectiva da quarta revolução industrial, os processos produtivos exigem mudanças importantes no tratamento das informações dos seus sistemas. O objetivo desta revolução industrial é interconectar tecnologias digitais disponíveis com recursos físicos associados com os processos de manufatura (Hermann, et al., 2016). Com a integração de sistemas, máquinas e pessoas, obtém-se maior controle da produção em cada uma das fases que compõem o ciclo de vida de um produto. As informações produzidas em um processo são de grande interesse, e, portanto, registrar, processar e compartilhar estas informações permite descentralizar, virtualizar e automatizar os processos de fabricação (Zhou, et al., 2017).

Manter o padrão de qualidade de um produto e atender os requisitos dos clientes é outro fator que gera constantemente novas questões. A qualidade de um produto pode ser afetada por perturbações ocorridas durante o processo de fabricação e fatores externos (Šormaz, 2011). O processo de inspeção visa identificar as fontes e a natureza dos erros que afetam a qualidade final do produto através das informações coletadas de medições feitas na peça (Zhao, et al., 2011). O foco de diferentes pesquisas é criar um modelo para definir as perturbações, fornecer mecanismos para gerar mudanças nos parâmetros de operação e conseguir manter a qualidade final de um produto. Uma malha fechada de manufatura CLM (*Closed Loop Manufacturing*) é considerada um método adequado que permite integrar os resultados da inspeção com operações de fabricação (Fecova & Kocisko, 2013) (Po, et al., 2014).

Neste contexto de desenvolvimento que enfrentam os sistemas de fabricação, o padrão STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data* - norma ISO 10303), fornece uma arquitetura para gerenciamento de dados, que facilita a adaptação dos processos de fabricação com as novas exigências (Alvares et. al., 2016). Esta integração é possível principalmente pela estrutura com a qual STEP-NC descreve as informações de um produto durante todo o ciclo de vida. O padrão STEP-NC procura estabelecer-se como uma ferramenta essencial na integração dos processos industriais, fornecendo suporte para diferentes métodos de implementação e desenvolvimentos que buscam aceder, transferir e armazenar dados de um produto. Os distintos protocolos de aplicação que compõem o padrão permitem suportar o desenvolvimento de um produto e gerar diferentes possibilidades de implementação para criação de novos métodos e modelos (14649-10, 2003).

Este artigo apresenta uma descrição de um modelo de referência proposto que opera em malha fechada aderente ao padrão STEP-NC para executar tarefas de desenho, planejamento, manufatura e inspeção. É exposto o fluxo de informações que acontecem no laço fechado e as atividades funcionais necessárias para uma adequada integração do processo de produção.

2. CONTEXTO DE APLICAÇÃO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI.

Existe uma grande quantidade de trabalhos relacionados à CLM (*Closed loop Manufacturing*) que permitem construir um conhecimento sobre as bases de integração de processos. As questões mais relevantes a serem resolvidas com a revisão bibliográfica são: encontrar o modelo de dados que atinjam as demandas atuais para intercâmbio de informação, arquitetura para implementação e método apropriado de inspeção para integração com manufatura. Na tabela 1 é apresentada uma síntese da literatura com resultados relevantes nesta área de pesquisa.

Tabela 1. Sínteses de literatura consultada relacionada com inspeção.

Autor	Enfoque da pesquisa	Observações
(Živanović & Glavonjić, 2014)	Metodologia para implementação do padrão STEP-NC.	Propõem uma metodologia para implementação de protocolos STEP-NC na programação de máquinas ferramenta usando diagramas IDFE0. A proposta apresentada neste artigo contém os diagramas IDEF0.
(Xu*, et al., 2005)	Compilação de informações sobre a integração inteligente de processos.	Detalha as razões que permitiram o surgimento da norma STEP para troca de informação. Apresenta uma compilação de informações sobre a integração e a troca de dados na fabricação de sistemas de manufatura com referência à norma ISO 6983.
(Brecher, et al., 2006),	Malha fechada CAPP/CAM/CNC baseada em STEP-NC.	Apresenta uma integração de CAPP/CAM/CNC em malha fechada e tecnologias de medição dentro de STEP-NC com base padrão ISO 14649.
(Zhao, et al., 2008)	Inspeção e usinagem em malha fechada.	Apresenta um desenvolvimento completo de um modelo para a integração de dados em malha fechada para usinagem e inspeção feita em OMI. (<i>On-Machine Inspection</i>).
(Zhao, et al., 2011)	Modelo de informação para inspeção interoperável	Apresenta informações interessantes sobre inspeção interoperável com enfoque na implementação inteligente.
(Li, 2013)	Arquitetura para o tratamento de dados industriais.	Descreve a importância de padronizar os dados em sistemas interoperáveis. Apresenta uma arquitetura para implementação baseada em STEP-NC.
(Danjou & Le Duigou, 2016)	Manufatura em malha fechada baseada em STEP-NC	Relata a proposta de um modelo para a criação de uma malha fechada de manufatura baseada em um modelo ontoSTEP-NC e sistemas PLM para CAD/CAM.
(Alvares, et al., 2016)	Arquitetura web baseada em STEP-NC para manufatura de peças.	Apresenta uma arquitetura de controlador numérico computadorizado (CNC), aderente à norma ISO 14649 (STEP-NC). Através do adaptador converte um formato de programa STEP-NC para código G. Essa arquitetura permite aplicar a norma STEP-NC em sistemas que possuem operações de usinagem CNC.

Nos processos de manufatura convencionais (Figura 1) as trajetórias da ferramenta são geradas por sistemas de manufatura assistida por computador (CAM), extraíndo as informações da peça de um modelo virtual criado num sistema de projeto assistido por computador (CAD). As trajetórias da ferramenta são armazenadas em um arquivo de controle numérico computadorizado (CNC) para um processamento feito na máquina ferramenta (Chengxin, et al., 2013). Apesar da conexão entre cada sistema CAD/CAPP/CAM/CNC é difícil seguir o processo de evolução de um produto (Huiying, 2014).

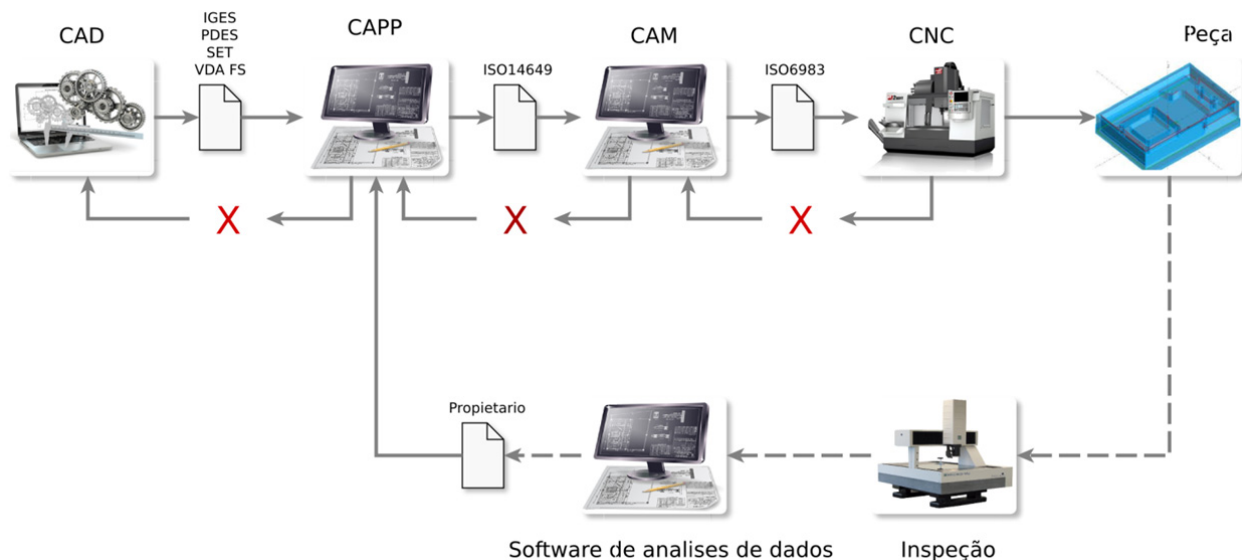


Figura 1. Esquema de um processo de manufatura e inspeção convencional.

As informações do produto sofrem uma série de transformações em cada um dos sistemas CAD/CAPP/CAM/CNC, causadas por incompatibilidades dos formatos de proprietários privados. As alterações nos parâmetros de um produto feito por qualquer um dos sistemas CAD/CAPP/CAM/CNC podem não ser notadas em processos posteriores. No final da cadeia de manufatura pode haver uma diferença entre o produto obtido e o projetado. Esta arquitetura tomam difíceis as ações de correção. O problema é maior se na cadeia de fabricação, os processos de planejamento de inspeção assistida por computador (CAIP) e inspeção assistida por computador (CAI) são aderidos. A troca de informações de cada processo não é garantida e erros de produção podem ser repetidos pela dificuldade de armazenar práticas bem sucedidas (Kumar & Newman, 2010).

Antes do padrão STEP foram feitos vários esforços independentes para resolver o problema de troca de dados até conseguir evoluir em diferentes versões alternativas. Os formatos mais conhecidos são IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), PDES (*Product Data Exchange Specification*), SET (*Standart d'exchange et de Transfer*) e VDA FS (*Verband der Deutschen Automobilindustrie Flächenchnittstelle*). Algumas das características importantes desses formatos foram adotadas no padrão STEP.

O modelo apresentado neste artigo é criado com o objetivo de oferecer uma solução alternativa que facilite seguir a evolução do produto. Para contextualizar a solução, são apresentadas as principais questões que motivaram esta pesquisa.

- Encontrar um modelo de dados para integração dos sistemas CAD/CAPP/CAIP/CAM/CNC/CAI.
- Definir o tipo de arquitetura que forneça o melhor desempenho na integração e possibilite a interoperabilidade do sistema.
- Selecionar o método de inspeção dimensional e geométrica para integrar no modelo.

A Figura 2 apresenta um esquema geral com os recursos necessários para criar um sistema em malha fechada de manufatura e inspeção. O sistema é completamente integrável com tecnologias digital e aderente ao conceito de indústria 4.0. O processo de inspeção é uma atividade importante dentro da fabricação integrada, as decisões tomadas ao longo dos processos de planejamento têm uma incidência direta sobre a qualidade do produto, o custo e tempo de produção. Integrar os resultados de inspeção com os parâmetros de manufatura permite obter uma relação controlada entre a qualidade da saída do produto e os parâmetros de entrada do processo. (Huiying, 2014).

No modelo de integração proposto neste artigo, a estrutura de dados selecionada é fornecida pelo padrão STEP estruturada dentro de uma arquitetura em malha fechada. O padrão fornece o suporte, recursos e definições de produto para padronizar nas diferentes áreas da indústria digital. O método de inspeção dimensional e geométrica é feito com máquinas de medição por coordenadas para retroalimentação em malha fechada (Laguionie, et al., 2009).

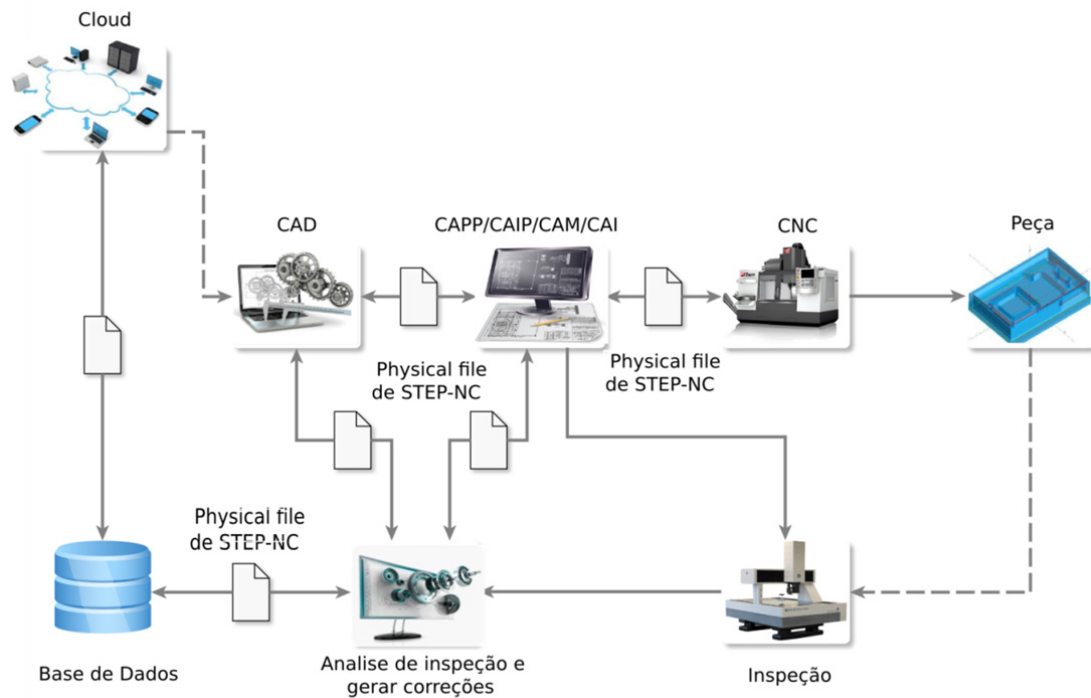


Figura 2. Esquema de um processo de manufatura em malha fechada, aderente com padrão STEP-NC.

3. FLUXO DE DADOS PARA O MODELO DE INTEGRAÇÃO ADERENTE A PADRÃO STEP

O padrão STEP tem sido uma tendência crescente de implementação que desperta especial interesse devido ao enfoque para integração de dados no contexto da indústria digital. A inserção das tecnologias digitais na manufatura, como é o caso da tecnologia *IoT* e arquiteturas *cloud*, que buscam coletar informações para gerar soluções a diferentes problemas encontram suporte no padrão, STEP fornece uma representação das informações de produtos e disponibiliza as definições necessárias para trocar, armazenar, transferir e acessar aos dados mediante diferentes tecnologias e com um único arquivo. STEP-NC é uma extensão do STEP que complementa as informações de projeto com informações de manufatura como são *features*, tolerâncias, sequências de operações, velocidade, etc (Majstorovic, et al., 2014).

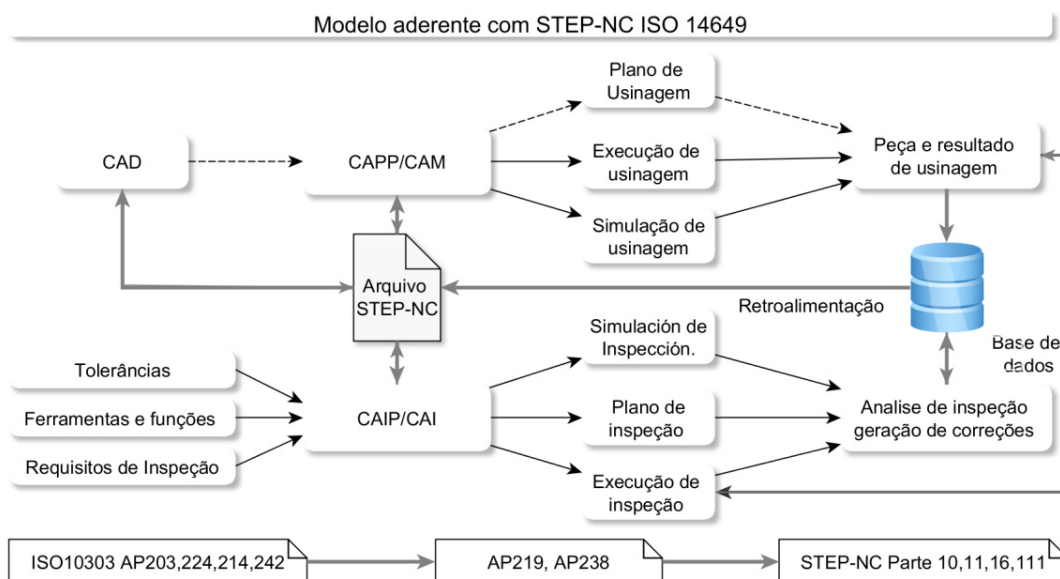


Figura 3. Esquema de dados para arquitetura em malha fechada (manufatura e inspeção) aderente a STEP-NC.

A Figura 3 apresenta-se o esquema proposto em malha fechada para manufatura e inspeção. O fluxo de dados é fornecido através do padrão STEP-NC. A integração CAD/CAPP/CAM/CAIP/CAI baseia-se em quatro atividades funcionais que são: projeto, planejamento (usinagem e inspeção), controle de processo (usinagem e inspeção) e análise de resultados para geração de correções. A Figura 3 mostra as atividades funcionais utilizadas e como são integradas por meio do modelo de dados suportado pelo padrão. A informação é estruturada em um arquivo físico em STEP-NC, construído com a parte 10 do ISO 14649, que fornece a estrutura de controle para a sequência de execução de um programa. O arquivo contém as sequências de *Workingsteps* e funções relacionadas com a operação da máquina. *Workingsteps* são definidos como operações específicas que podem ser executadas em uma máquina-ferramenta CNC, subdividindo cada operação de usinagem em passos necessários para efetuar a operação, que podem ser considerados semelhantes aos ciclos fixos de usinagem no código G tradicional (norma ISO 6983).

As atividades de projeto e criação de peças usam o modelo de dados ISSO 10303 descritos nos protocolos de aplicação AP203, AP214, AP224, AP242 (Organisation, 1992) (Pratt, 2005).

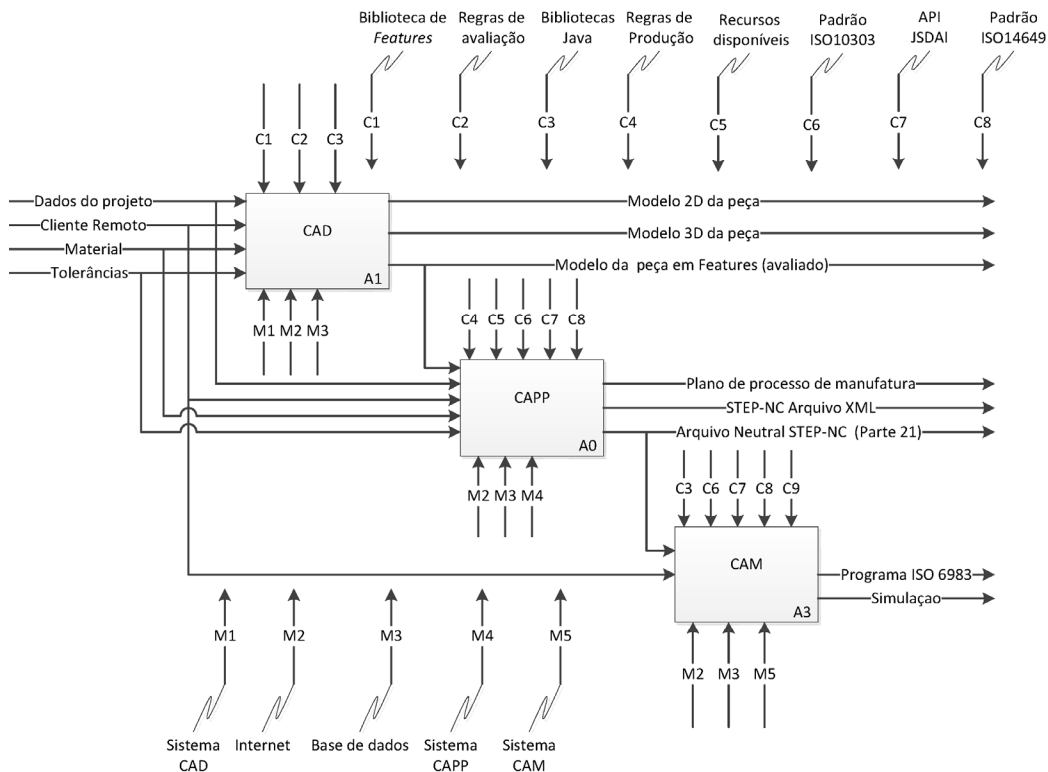


Figura 4. Diagrama IDEF0 do sistema integrado, nível A0, STEP Modeler desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). (Adaptação (Benavente & others, 2011)). (C2→ regras de validação, e saída do A1 → Modelo da peça em Features (validado)).

O diagrama IDEF0 (*Integration Definition for Function Modeling*) do sistema integrado exibido na Figura 4 apresenta os blocos funcionais herdados “do sistema “STEP Modeler” sobre os quais é planejada a integração dos sistemas CAIP e CAI em malha fechada. O bloco funcional CAD usa uma abordagem de modelagem por *features* e fornece suporte para o projeto de peças prismáticas. O bloco funcional CAPP tem por objetivo dar suporte ao planejamento do processo da peça por meio de tarefas que permitam gerar *Machining Workingsteps*, organizar os *Machining Workingsteps*, determinar os pontos de apoio, criar o plano e com esta informação criar o arquivo *Physical file* STEP-NC. O bloco funcional CAM tem o objetivo de interpretar o arquivo físico e possibilitar a fabricação da peça. Os procedimentos para ler o arquivo neutro são feitos além de realizar um post-processamento para ISO 6983 e fazer a simulação da movimentação (Benavente, et al., 2013).

4. MODELO DE INTEGRAÇÃO PARA INSPEÇÃO EM MALHA FECHADA ADERENTE A STEP-NC.

Para descrever o método de integração CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI é seguido o procedimento geral do padrão STEP. O modelo de implementação de atividades (AAM) é criado em IDEF0 para descrever os blocos funcionais que compõem o sistema. O método do IDEF0 proporciona as ferramentas para fazer uma modelagem funcional completa. O modelo de integração é incluído no sistema STEP Modeler desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina

(UFSC) (Benavente, et al., 2013). No sistema STEP Modeler são integradas as atividades funcionais CAIP/CAI para executar inspeção dimensional e geométrica em malha fechada aderente ao padrão STEP-NC (Xu & He, 2004). As atividades funcionais que compõem o modelo de integração CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI são apresentadas na Figura 5.

A inspeção dimensional e geométrica dentro de uma malha fechada de manufatura pode ser usada para aperfeiçoamento do processo e para controle da evolução do produto. As questões a resolver com o modelo AAM para inspeção dimensional e geométrica são:

- Analisar quais dos parâmetros requeridos são mensuráveis.
- Determinar o valor de incerteza aceitável para a medição.
- Selecionar o método de interpretação de dados para visualizar o problema.
- Selecionar os dados para compartilhar.
- Classificar a informação obtida para gerar adaptabilidade, aperfeiçoamento do produto.

A Figura 5 apresenta o modelo AAM de CAIP/CAI em IDEF0 para inspeção dimensional e geométrica que atende as questões anteriores.

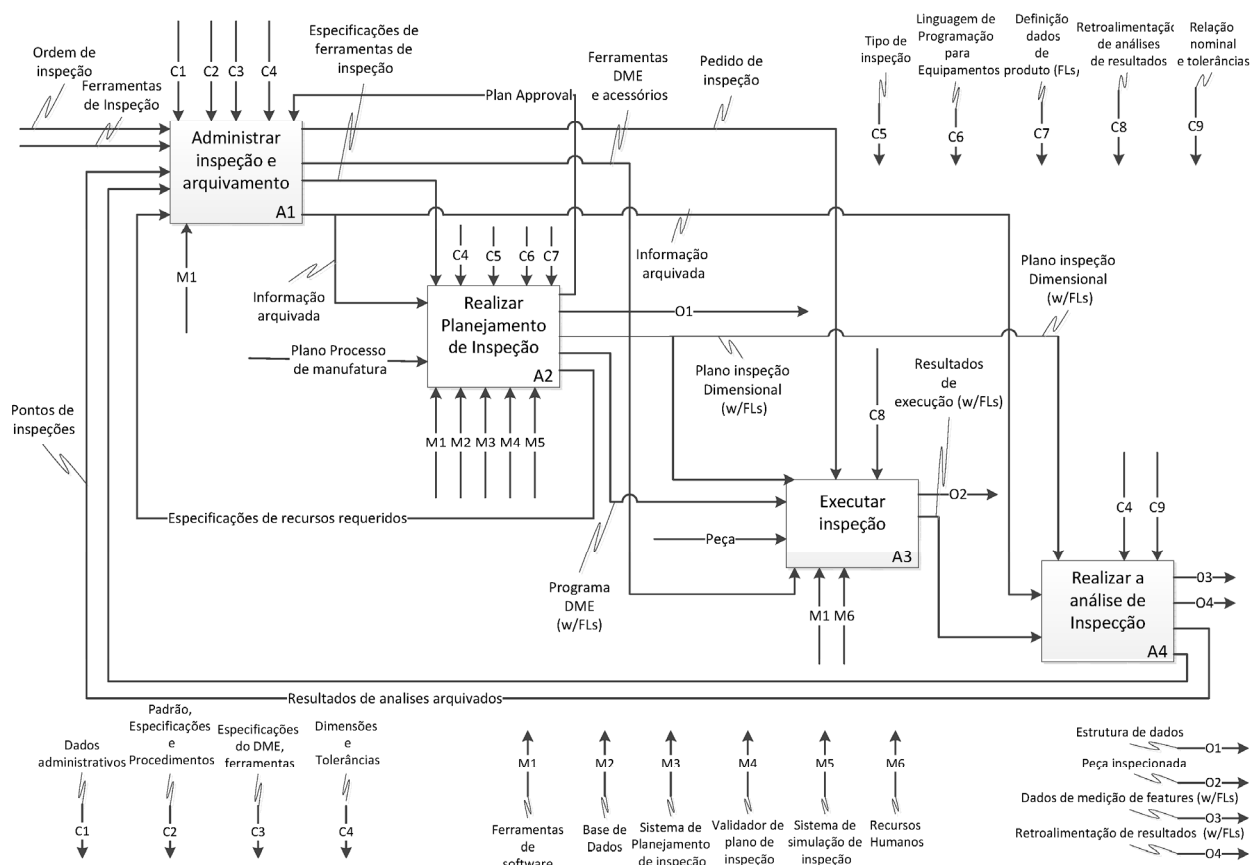


Figura 5. Modelo AAM para CAIP/CAI em IDEF0 para Inspeção dimensional e Geométrica.

O modelo AAM apresentado na Figura 5 fornece uma representação gráfica dos módulos CAIP/CAI. O modelo contém o fluxo de informações e a definições de funções necessárias para realizar a implementação mediante os protocolos de aplicação AP219 e AP238 da ISO 10303 (Zhao, et al., 2011).

O modelo AAM para inspeção dimensional, apresentado na Figura 5 é composto por quatro módulos principais, com as seguintes atividades:

- Administração a inspeção e arquivamento: atividade encarregada de aspectos administrativos relacionados à organização da inspeção dimensional e geométrica.
- Realizar planejamento de inspeção: atividade que proporciona um plano de inspeção com a programação do equipamento para medição já incluso.
- Executar inspeção: atividade na qual o plano de inspeção é executado pelo operador no equipamento para produzir resultados e obter medições necessárias em análises posteriores.

- Realizar as análises de inspeção: atividade na qual os dados de medição são usados para descrever as características da peça, calcular dimensões e determinar os parâmetros relacionados às tolerâncias dimensionais.

Na Figura 6 é apresentado o escopo dos módulos CAIP/CAI com as atividades funcionais necessárias para executar uma inspeção dimensional e geométrica em malha fechada. O modelo AAM criado (Figura 5) usa as entidades descritas no protocolo de aplicação AP219 do padrão STEP. Estas atividades são devidamente integradas com atividades funcionais associadas à manufatura e gera um *feedback* com informações para o processo.

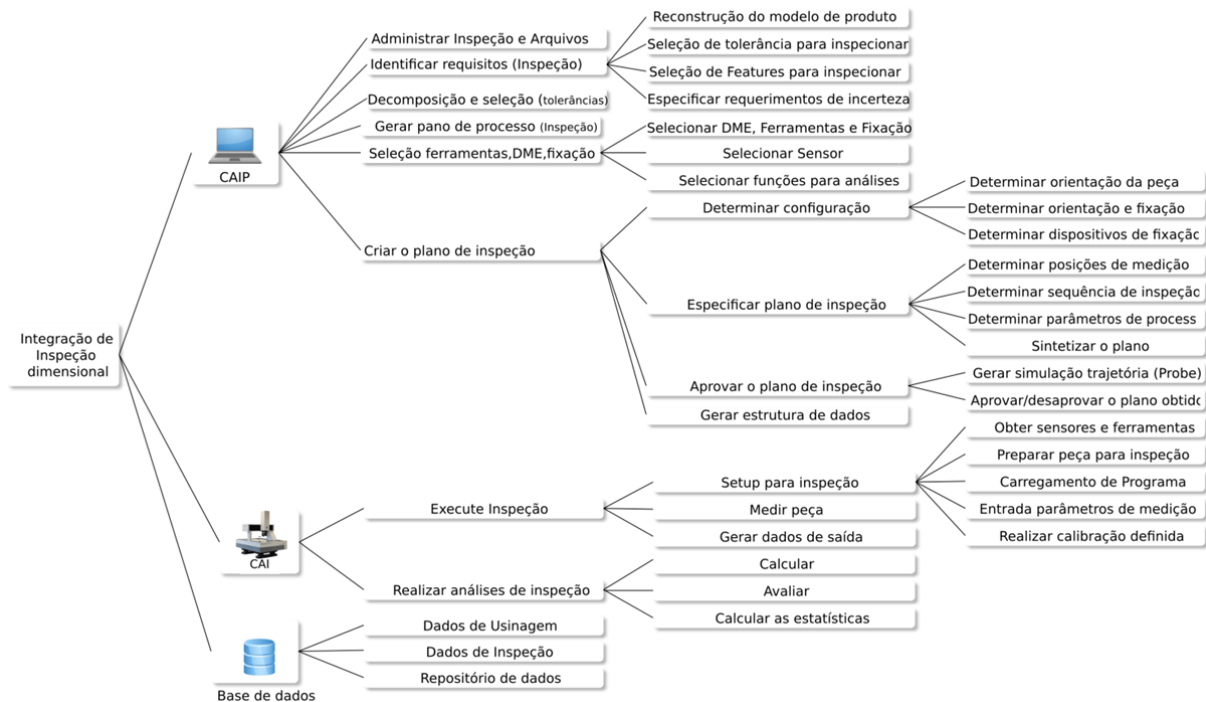


Figura 6. Funções necessárias para a implementação dos módulos CAIP/CAI para criar uma malha fechada com o sistema.

A Figura 6 apresenta as funções associadas aos módulos CAIP/CAI para exibir os níveis e subníveis das atividades funcionais. Cada função deve ser desenvolvida e implementada usando-se as definições fornecidas pelo padrão nos protocolos de aplicação AP238 e AP219 da ISO 10303 para conseguir a integração correta em malha fechada e obter o modelo de dados completamente aderente a STEP-NC. Uma das finalidades do modelo de dados STEP-NC é fornecer uma programação orientada a objetos em termos de *features* de usinagem e evitar as sequências de funções com código direto como é feito na norma ISO 6983.

A Figura 7 apresenta a modelagem funcional proposta para integrar a inspeção em malha fechada. O objetivo do modelo AAM é apresentar as funções do projeto em atividades agrupadas em diferentes níveis e hierarquias. A modelagem do sistema feito em IDEF0 pode ser decomposto, para facilitar a análise.

As informações necessárias para que o sistema possa realizar suas funções são exibidas no modelo como entradas nos blocos funcionais (esquerda do bloco). A Figura 7 mostra a decomposição do sistema em sete atividades funcionais principais, a saber: atividade de projeto (CAD, A1), atividade de planejamento do processo (CAPP, A2), atividade de planejamento de inspeção (CAIP, A3), atividade de manufatura (CAM, A4), atividade de fabricação (CNC, A5), atividade de inspeção (CAI, A6) e atividade para armazenar e compartilhar informação (Base de Dados, A7). Os mecanismos usados para a transformação das entradas são indicados na parte inferior de cada bloco funcional (M1-M14). Os meios de controle que garantem e fornecem as regras para a geração das saídas do modelo, de acordo com os requerimentos, são mostrados na parte superior (C1-C18). As saídas de maior importância do modelo são exibidas em cada bloco funcional na parte à direita (O1-O8).

As principais tarefas integradas no sistema referente à inspeção dimensional e geométrica baseiam-se em funções para a definição do produto, planejamento de medição, execução de inspeção e análises de dados obtidos. O sistema gera um relatório de qualidade do produto final que é armazenado e compartilhado com todos os processos descritos dentro do modelo de integração. As entradas ao sistema CAIP contém informações necessárias para gerar um macro plano que pode se estender para um micro plano dos dispositivos independentes relacionados ao processo. As informações do macro processo em grande medida são geradas no interior do modelo pelos sistemas integrados. O modelo AAM apresentado permite projetar o modelo ARM (*Application Reference Model*) que contém os dados

necessários para a implementação computacional de cada aplicação específica. O modelo ARM é obtido com as definições e terminologia fornecidas pelo padrão para ser usado como referência na implementação computacional. O desenvolvimento do modelo ARM precisa detalhar as entidades inter-relacionadas do modelo proposto além de conhecer as definições e atributos.

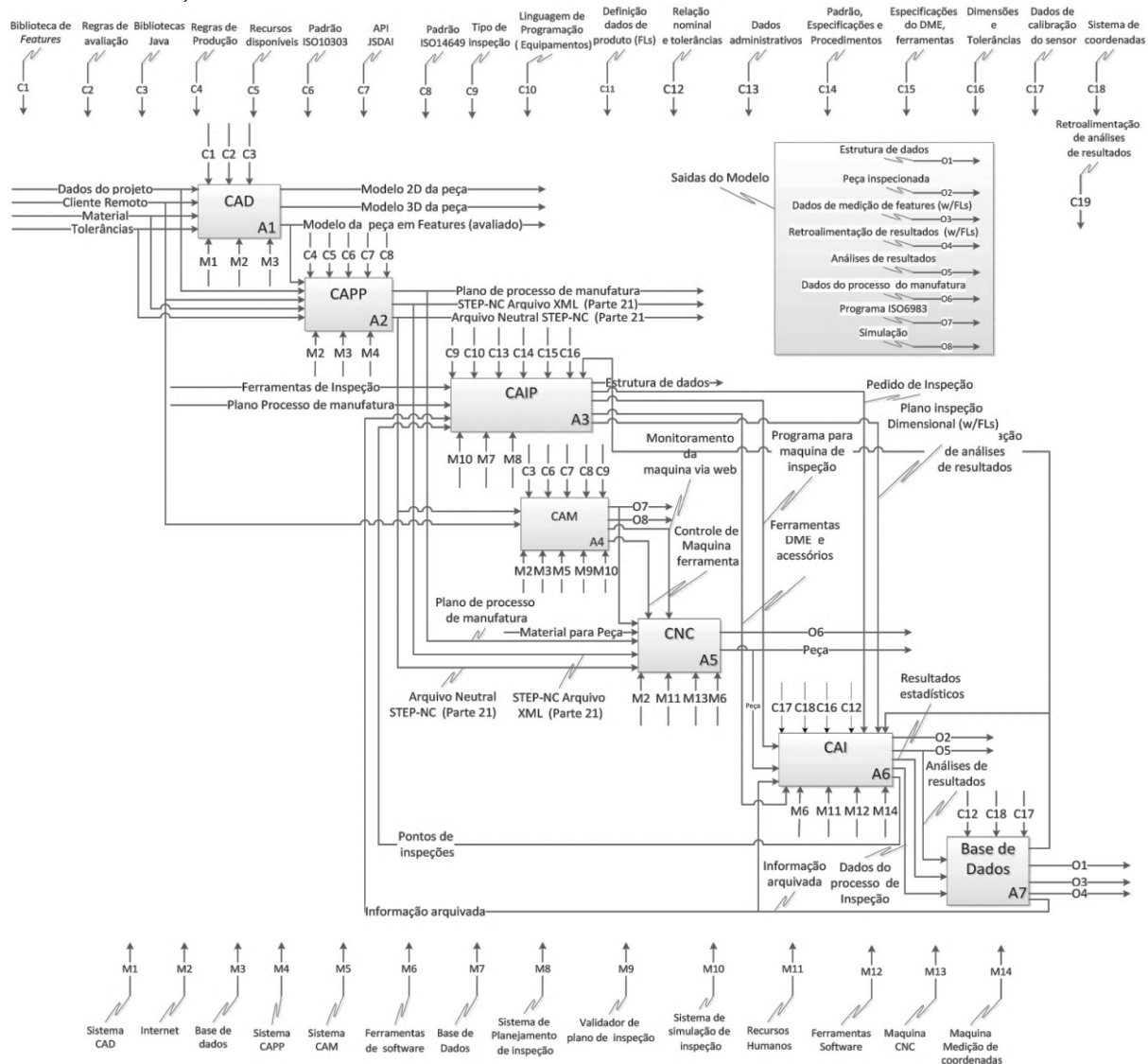


Figura 7. Modelo AAM do sistema proposto para integração CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI em IDEF0.

5. MÉTODO PARA IMPLEMENTAÇÃO BASEADO NO PADRÃO STEP-NC

A descrição da norma STEP é realizada principalmente através da linguagem EXPRESS (ISO 10303-11, 1994), uma ferramenta que descreve os modelos de informações e protocolos de aplicação. Na implementação de modelos, métodos e protocolos a linguagem EXPRESS é usada para observar o fluxo de dados. A linguagem EXPRESS (ISO 110303- 11 1994) foi projetada para uso em modelagem de informações, independentemente da tecnologia, permitindo representação dos dados, restrições, regras, funções e procedimentos (Zhao, et al., 2008).

Em um ambiente de interoperabilidade como é o sistema de manufatura em malha fechada CLM, os dados de produto representados em EXPRESS podem ser consultados por meio de chamadas escritas numa linguagem de definição de interface (IDL), cujas funções declarativas podem ser implementadas na linguagem C++. Trabalhando com classes pode-se criar o código de implementação para cada atividade funcional por meio de instâncias e fornecer os parâmetros para armazenar no arquivo físico.

As técnicas de implementação padrão para as estruturas de informação contidas nos protocolos de aplicação inclui: estrutura de troca de dados no arquivo físico interface de acesso aos dados padrão (SDAI) (ISO 10303-22, 1998) e suas

linguagens de ligação ISO 10303-23 (linguagem C++), ISO 10303-24 (linguagem C), ISO 10303-27 (Java), ISO10303-28 (XML-Extensible Markup Language).

A Figura 8 apresenta um código criado em C# usando bibliotecas STEP-NC DLL para gerar um arquivo *Physical file Part 21*. O código define as ferramentas, um deslocamento entre dois pontos e alguns dos parâmetros necessários para a sua operação.

```
namespace stepnc_00
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            STEPNClib.AptStepMaker apt = new STEPNClib.AptStepMaker();
            apt.PartNo("test part");
            apt.DefineTool(0.25, 5.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0);
            apt.LoadTool(2);
            apt.Rapid();
            apt.GoToXYZ("point001", 1.0, 12.0, 0.0);
            apt.GoToXYZ("point002", 1.0, 14.0, 0.0);
            apt.SaveAsModules("CIRJ29042016");
        }
    }
}
```

Figura 8. Código criado em C# usando bibliotecas STEP-NC DLL.

Com o modelo de integração apresentado neste artigo pode-se passar à implementação de funções associadas a CAIP e CAI dentro do sistema em malha fechada. O modelo permite o dimensionamento do problema e criar uma solução para a estrutura de dados que atendem aos requisitos da indústria 4.0 e manufatura avançada. A próxima fase consiste em construir o modelo de referência (ARM) e fazer implementações computacionais de cada uma das atividades funcionais.

6. DISCUSSÃO

O modelo AAM apresentado neste artigo foi desenvolvido para gerar um caminho que permita guiar a implementação computacional de cada uma das atividades funcionais requeridas para integrar em uma malha fechada os resultados de inspeção. O modelo ilustra o grau de complexidade destas atividades, e o enfoque de solução desenvolvido. É preciso abordar a solução visando integrar no sistema STEP Modeler os resultados de inspeção dimensional e geométrica baseados na norma. Os modelos de referência (ARM) contêm as informações das definições e métodos de integração fornecidos pelos protocolos de aplicação AP219 e AP238.

A principal contribuição desta pesquisa consiste em viabilizar uma solução ao problema de interoperabilidade e criar uma alternativa de integração que cumpra com as exigências atuais da manufatura. Independentemente da tecnologia usada o modelo detalha os recursos necessários para estruturar a informação que permite a implementação de uma malha fechada de inspeção completamente aderente com o padrão STEP-NC. Os desafios presentes na continuação do projeto são associados com a implementação computacional e a seleção apropriada das tecnologias envolvidas na arquitetura apresentada neste artigo.

7. CONCLUSÕES

O artigo apresenta o modelo de integração CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI que viabiliza a implementação de inspeção dimensional e geométrica em malha fechada. O padrão STEP-NC habilita a integração e interoperabilidade dos sistemas independentemente da tecnologia usada e proporciona a troca de informações através das tecnologias digitais. Dentro do contexto de indústria 4.0 o sistema em malha fechada é considerado um método de manufatura avançada pela comunicação bidirecional que mantém com cada um dos processos envolvidos na produção.

Para a execução das trocas de dados que acontecem no produto ao longo do seu ciclo de vida é necessário gerar soluções tecnológicas baseadas no gerenciamento de dados que facilitem a troca de informações em todos os níveis e fases do processo de produção. As soluções devem promover a comunicação bidirecional, interoperabilidade, acesso sem restrições e evitar a perda de dados. A manipulação adequada das informações permitirá aperfeiçoar a produção, promover a melhoria contínua em todos os níveis e economizar tempo em sistemas de produção. A concepção de uma arquitetura com informações estruturadas fornece os meios necessários para o desenvolvimento de futuros métodos de solução.

8. REFERÊNCIAS

- 14649-10, I. D. I. S., 2003. Industrial automation systems and Integration--Physical device control-- Data model for computerized numerical controllers Part 1: Overview and Fundamental Principles. s.l.:Version.
- Alvares, Á. a. J. A., Paredes, M. E. G., Ferreira, J. C. E. & Benavente, J. C. T., 2016. A web-based STEP-NC-compliant architecture for low cost 3D part manufacturing. *International Journal of Manufacturing Research*, Volume 11, pp. 1-27.
- Benavente, J. C. T., Ferreira, J. C. E., Goulart, C. M. & Oliveira, V. G. d., 2013. A STEP-NC compliant system for the remote design and manufacture of mechanical components through the Internet. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Volume 26, pp. 412-428.
- Benavente, J. C. T. & others, 2011. Um Sistema para o projeto e fabricação de peças mecânicas a distância via internet aderente à norma ISO 14649 (STEP-NC).
- Brecher, C., Vitr, M. & Wolf, J., 2006. Closed-loop CAPP/CAM/CNC process chain based on STEP and STEP-NC inspection tasks. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Volume 19, pp. 570-580.
- Chengxin, Z. et al., 2013. Thermal error modelling of NC machine tools based on impulse response model. s.l., s.n., pp. 307-311.
- Danjou, C. & Le Duigou, J., 2016. Closed-loop Manufacturing, a STEP-NC Process for Data Feedback: A Case Study. *Procedia CIRP*, Volume 41, pp. 852-857.
- Danjou, C., Xu, S., Le Duigou, J. & Anwer, N., 2015. STEP-NC based optimization and smart industrialization of NC machining in the context of the factory of the future. *S15 Usine du Futur: int{\e}gration conception-production*.
- Fecova, V. & Kocisko, M., 2013. The principle of measuring by coordinate measuring machines and new possibilities of work with these machines. s.l., s.n., pp. 101-104.
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B., 2016. Design principles for industrie 4.0 scenarios. s.l., s.n., pp. 3928-3937.
- Huiying, Q., 2014. Research on NC Simulation Technology Integrating CAD/CAM/CAPP. s.l., s.n., pp. 551-554.
- Kumar, S. & Newman, 2010. An information model for process control on machine tools. s.l., s.n., pp. 1565-1582.
- Laguionie, R., Rauch, M. & Hascoët, J.-Y., 2009. Toolpaths programming in an intelligent STEP-NC manufacturing context. *arXiv preprint arXiv:0905.3079*.
- Li, Y., 2013. Development architecture for industrial data management, s.l.: s.n.
- Majstorovic, V., Sibalija, T., Ercevic, M. & Ercevic, B., 2014. CAI model for prismatic parts in digital manufacturing. *Procedia CIRP*, Volume 25, pp. 27-32.
- Organisation, I. S., 1992. ISO 10303 industrial automation systems product data representation and exchange Part 11: Description methods: The express language reference manual. ISO DIS, pp. 10303-11.
- Po, H., Hongya, F., Zhenyu, H. & Dedong, H., 2014. A closed-loop and self-learning STEP-NC machining system. s.l., s.n., pp. 1598-1603.
- Pratt, M. J., 2005. ISO 10303, the STEP standard for product data exchange, and its PLM capabilities. *International Journal of Product Lifecycle Management*, Volume 1, pp. 86-94.
- Šormaz, D. N., 2011. Distributed Agent-based Integrative Model for Mass Customization Product Development. s.l., s.n., p. 3.
- Xu*, X. W. et al., 2005. STEP-compliant NC research: the search for intelligent CAD/CAPP/CAM/CNC integration. *International Journal of Production Research*, Volume 43, pp. 3703-3743.
- Xu, X. W. & He, Q., 2004. Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 20, pp. 101-109.
- Zhao, F., Xu, X. & Xie, S., 2008. STEP-NC enabled on-line inspection in support of closed-loop machining. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 24, pp. 200-216.
- Zhao, Y., Kramer, T., Brown, R. & Xu, X., 2011. Information modeling for interoperable dimensional metrology. s.l.:Springer Science & Business Media.
- Zhou, Z., Yao, B., Xu, W. & Wang, L., 2017. Condition monitoring towards energy-efficient manufacturing: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-21.
- Živanović, S. & Glavonjić, M., 2014. Methodology for implementation scenarios for applying protocol STEP-NC. *Journal of Production Engineering*, Volume 17, pp. 71-74.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INTEGRATION MODEL FOR CLOSED-LOOP INSPECTION BASED ON STEP-NC

Cristhian Ivan Riaño Jaimes¹, cristhianivanrj@aluno.unb.br
Joao Carlos Espindola Ferreira², j.c.ferreira@ufsc.br
Julio Cesar Ticona Benavente², metrojulio@yahoo.es
Alberto J. Alvares¹, alvares@AlvaresTech.com

¹University of Brasília, CEP 70855-530 Brasília – DF, Brazil.

²Federal University of Santa Catarina, Mailbox 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil

Abstract: The STEP-NC standard allows the exchange and sharing the data of a part at all stages of its production process and with the different technologies involved. This paper presents the proposal of a new CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI (Computer-aided Design, Process Planning, Inspection Planning, Manufacturing and Inspection) reference model for the feedback of the manufacturing process, based on the closed-loop inspection compliant with the STEP-NC standard (ISO 14649). This paper discusses the implementation of the AP238 and AP219 application protocols, and AAM (Application Activity Model) models of STEP-NC to structure the information and the flow of data that support the functional activities in the created model. The CAD/CAPP/CAIP/CAM/CAI integrated system model is analyzed, discussed and exposed in detail using IDEF0 ((Integration Definition for Function Modeling)) for functional modeling, and EXPRESS (part 21 of ISO 10303) for informational modeling. It is proposed a computational implementation based on the STEP Modeler system developed at UFSC, incorporating new functionalities associated with the closed loop inspection based on the analysis of the inspection result generated by a Coordinate Measuring Machine. The integrated system allows reaching the so-called Closed Loop Manufacturing, closing the control loop on the shop floor associated with the manufacturing process.

Keywords: Industry 4.0, Computer-Aided Inspection (CAI), Advanced Manufacturing, Computer-Aided Inspection Planning (CAIP), STEP-NC.