

## Estrutura de Dados para Sistemas CAD/CAM aderente à STEP

Roberto S. Ubertino Rosso Jr.<sup>1</sup>, Stephen T. Newman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina - Depto. de Ciências da Computação  
Joinville – SC – Brasil. CEP:89223-100

e-mail: roberto.rosso@joinville.udesc.br

<sup>2</sup>Loughborough University – Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering  
Loughborough – Leicestershire – UK. LE11 4QT

e-mail: S.T.Newman@Lboro.ac.uk

**Resumo:** A norma usada para programação NC, ISO 6983 é ainda hoje baseada no mesmo sistema de códigos G/M herdado da programação das primeiras máquinas NC. Apesar dos avanços significativos feitos em software e nas máquinas a CNC persiste a falta de uma infraestrutura comum para informações CAD/CAPP/CAM/CNC. Este artigo descreve o nova norma STEP-NC (ISO14649), aspectos do desenvolvimento de sistemas CAD/CAM aderentes a STEP-NC e integração de modelos de dados de produto e manufatura utilizando STEP-NC e STEP.

**Abstract:** Today's standard used for NC programming, ISO 6983 is based on the G & M code system inherited from the programming of early NC machines. Although significant advances have been made in CNC machine and software, there is still a lack of a common infrastructure for CAD/CAPP/CAM/CNC information. This paper describes the new standard STEP-NC (ISO14649), with aspects of the development of STEP-NC compliant CAD/CAM systems and the integration of product and manufacturing data models using STEP-NC and STEP.

Palavra chave : Produção Assistida por Computador (CAM)

### 1 Introdução

A manufatura rápida, eficiente e integrada tem sido um dos objetivos de pesquisadores desde o aparecimento da máquina a CNC(Computer Numerical Control ) durante a década de 1980.

Nos primórdios dos sistemas CAD (Computer Aided Design) e CAM (Computer Aided Manufacturing), o problema de portabilidade dos modelos de um sistema para outro foi uma das questões chave a dificultar a disseminação destas ferramentas. Muitas soluções foram propostas na direção da padronização e do uso de normas para troca de dados tais como os padrões SET, VDA e IGES os quais obtiveram sucesso parcial [1]. Porém não eram totalmente adequados as necessidades da indústria de CAD, CAPP (Computer Aided Process Planning) e CAM. De forma que no início da década de 1990, a comunidade internacional desenvolveu o conjunto inicial da norma ISO 10303 [2] conhecida como STEP(STandard for the Exchange of Product model data), que tem seus fundamentos nas normas mencionadas anteriormente. A norma corrente para programas NC (Numerical Control) utiliza padrões que não mudaram de maneira significativa desde a década de 1950 quando a primeira máquina NC foi desenvolvida no M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology). Assim como as primeiras máquinas NC, as atuais máquinas a CNC continuam a usar o mesmo padrão de programação, normalizado pela ISO 6893[3] , conhecidos como códigos G/M que se baseiam na descrição dos movimentos da ferramenta. Atualmente a troca de programas entre máquinas CNC é virtualmente impossível a menos que tenham controladores do mesmo fabricante e uma configuração semelhante. Em caso de correções nestes programas, feitas pelo operador da máquina, não existe um padrão que permita atualizar automaticamente as bases de dados de processo e projeto do produto. Estes problemas tem dificultado a integração da manufatura. Para resolver estas questões, na segunda metade da década de 1990, uma nova interface de dados chamada ISO 14649[4], passa a ser desenvolvida usando como base a norma ISO 10303(STEP) e sob direção do Comitê Técnico TC184 da ISO (International Organization for Standardization) dentro dos Sub-comitês SC1 e SC4. Este artigo usa o termo STEP-NC como sinônimo da norma ISO14649. Porém é necessário notar que STEP-NC é o título de um programa da Organização IMS (Intelligent Manufacturing Systems) que combina os programas chamados Super-Model nos USA e STEP-NC na Comunidade Européia, Suíça e Coréia do Sul.

## 2 Programação STEP-NC

Apesar do desenvolvimento que tem melhorado a arquitetura dos software e das máquinas ferramentas a CNC, os fabricantes e usuários continuam a procura de uma infra-estrutura comum para sistemas CAD, CAPP, CAM e CNC que integre e traduza o conhecimento de cada um dos estágios da cadeia. É com o propósito de prover um padrão consistente e de qualidade para a manufatura baseada em CNC que a STEP-NC vem sendo desenvolvida. Ao contrario da ISO 6983, conhecida pelos códigos G/M, a ISO 14649 não é um método de programação nem descreve os movimentos da ferramenta para uma máquina CNC. O que a ISO 14649 provê é um modelo de dados orientado a objetos para CNC, com uma estrutura detalhada de interface de dados que incorpora a programação baseada em *Features*, onde há uma gama de informações tais como a *Feature* a ser usinada, tipo de ferramentas a usar, as operações a realizar, e o plano de trabalho [5]. Para cada operação a realizar sobre uma ou mais *Features*, é definida uma instrução chamada *Workingstep*. Estes *Workingsteps* fornecem as bases para o funcionamento dos planos de trabalho definidos em instruções chamadas *Workplan* que definem a fabricação do componente. A figura 1 descreve a estrutura geral da organização de dados na ISO 14649. A figura 2 ilustra o extrato de uma saída de dados para fabricação uma peça onde se vê um *Workplan* constituído por *Workingsteps* para faceamento, furação e usinagem de uma cavidade.

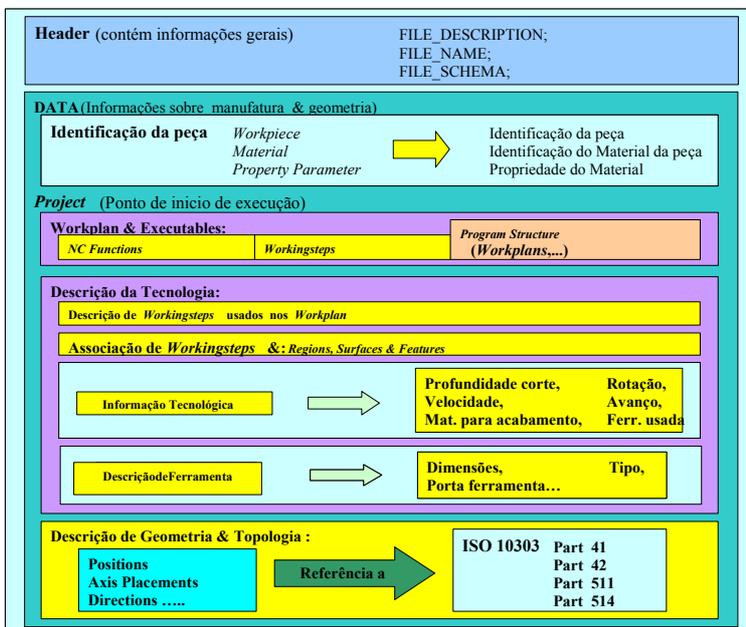


Figura 1- Estrutura geral de saída de dados NC aderentes a STEP (Adaptado de [4]).

```

HEADER: FILE_DESCRIPTION ('Test Program for SLOT,POCKET,HOLE.'):1';
FILE_NAME ('tape.STP',$,{ISO14649}),('R.D.Allen','Loughborough University','UK');
FILE_SCHEMA ('MACHINING_SCHEMA','MILLING_SCHEMA');
ENDSEC;

#1=WORKPIECE(PART',#2,0.1,$,$,{#200#201#202#203#204});
#2=MATERIAL('FC200','CAST_IRON',#0);
#9=CLOSED_POCKET('pocket1',#1,{#40,#41},#74,#0,#0,#0,#0,#0,#17,#160);
#10=ROUND_HOLE('hole1',#1,{#42,#43},#76,#146,#0,#0,#0,#0,#147,0.0,#18,#0,#0);
...
#19=PROJECT('EXECUTE_EXAMPLE2',#20,#1);
#20=WORKPLAN('EXAMPLE2',#21,#22,#23,#24,#25,#26,#27,#28,#29,#30),$,#71);
#21=MACHINING_WORKINGSTEP('ROUGH_POCKET1',#86,#9,#40);
#22=MACHINING_WORKINGSTEP('FINISH_POCKET1',#86,#9,#41);
#23=MACHINING_WORKINGSTEP('DRILL_HOLE1',#87,#10,#42);
#24=MACHINING_WORKINGSTEP('REAM_HOLE1',#87,#10,#43);
#25=MACHINING_WORKINGSTEP('ROUGH_SLOT1',#88,#11,#44);
#26=MACHINING_WORKINGSTEP('FINISH_SLOT1',#88,#11,#45);
...
#41=BOTTOM_AND_SIDE_FINISH_MILLING(#0,#0,'FINISH_POCKET1',#61,15.0,#0,#97,#61,#70,#0,2.0,10.0);
#42=DRILLING(#0,#0,'DRILL_HOLE1',#62,10.0,#0,#98,#62,#70,0.0,0);
#43=REAMING(#0,#0,'REAM_HOLE1',#63,10.0,#0,#99,#63,#70,0.0,0,F..0.0,$);
...
#50=CONTOUR_BIDIRECTIONAL(0.0,F..0.0,0.0);
#51=CONTOUR_PARALLEL(4.0,0.0,T,CW,0.0,CONVENTIONAL);
#52=DRILLING_TYPE_STRATEGY(0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,2.0,2.0,200.0);
#53=DRILLING_TYPE_STRATEGY(75.0,50.0,2.0,50.0,8.0,10.0,0.0,0.0,200.0);
#60=MILLING_TECHNOLOGY(0.0,TCP,#0,2.0,0.0,0.3,F..F..F.);
#71=SETUP(SETUP1,#72,#85,{#83});
#72=AXIS2_PLACEMENT_3D(SETUP1',#164,#165,#166);
#83=WORKPIECE_POSITIONS(#1,#84,#0);
#96=MILLING_CUTTING_TOOL('TAPERED_ENDMILL_20MM',#126,{#106},{50.0},80.0,#91,0.0);
...
#125=MATERIAL('EMOSCOS','HSS/CO',#0);
#126=TAPERED_ENDMILL(#136,4,null,F..#0,#0);
#136=TOOL_DIMENSION(20.0,0.0,0.0,0.0,1.5,0.0,0.0);
...
#159=TOLERANCED_LENGTH_MEASURE(0.0,null,0.0,0.0);
#160=POLYLINE('pocket1',#205,#206,#207,#208,#209,#210,#211);
#200=CARTESIAN_POINT('CLAMPING_POSITION1',(0.0,20.0,25.0));
#217=CARTESIAN_POINT('SLOT3_2',(10.0,20.0,0.0));
ENDSEC;
    
```

Figura 2 – Extrato de uma exemplo de programa STEP-NC (Adaptado de [4])

## 3 Principais questões para implementações em STEP-NC

Com o modelo de dados desenvolvido na ISO 14649, próximo de se tornar uma Norma Internacional (IS) da ISO, questões relativas a como criar sistemas CAD/CAM aderentes à norma e ao nível de aderência à mesma dependerão em muito do apoio dado pela indústria, e da aceitação da norma pelas empresas de desenvolvimento de software. Este desenvolvimento levanta uma serie de questões, algumas das quais já reconhecidas anteriormente em sistemas CAD/CAM baseados em *Features* e novas questões relativas ao uso do padrão STEP. Algumas destas questões são discutidas a seguir:

### 3.1 Representação por *Features*

Deve-se reconhecer que o uso de *Features* trouxe muitas vantagens aos ambientes de projeto e manufatura. Este uso é particularmente útil pela forma de comunicação usando termos de manufatura como por exemplo: furos, ilhas e bolsões ao invés de operações Booleanas usando cilindros, cubos e outras entidades geométricas. *Features* trazem significado aos modelos geométrico e esta é principal contribuição desta tecnologia. Na visão dos que desenvolvem sistemas

CAD/CAM, projeto, planejamento e manufatura são campos muito relacionados e que podem ser considerados complementares no uso do conhecimento. Entretanto, nota-se a falta de consenso no uso de *Features* em sistemas CAD/CAPP e CAM. Em geral as empresas definem seus próprios conjuntos de *Features* muitas vezes com poucas diferenças entre estas. Como consequência da falta de consenso entre implementações vem a frustração para o usuário. Para solucionar este problema foi desenvolvida a ISO 10303-224 (AP224) [6]. O AP224 pode ser considerado um grande conjunto de *Features* para manufatura que podem ser utilizadas para troca de informações necessárias para criar peças usinadas. A norma ISO 14649 usa o AP 224 como base para definição de *Features*. Durante o desenvolvimento da ISO 14649 algumas *Features* foram redefinidas resultando na necessidade de mapear AP224 para ISO 14649 quando do uso em rotinas de importação e exportação de dados. No ponto de vista dos autores, as *Features* deveriam ser usadas como definidas na ISO 10303-224 evitando as múltiplas definições.

### 3.2 A representação de fatores operacionais

É previsto que a médio prazo códigos em STEP-NC sejam processados em controladores inteligentes. A norma ISO 14649 define um conjunto de estratégias de usinagem a serem utilizadas. Algumas destas com definições muito próximas aos ciclos fixos na ISO 6983. Apesar da tarefa ser realizada de maneira semelhante, em algumas os parâmetros são diferentes. Para garantir o máximo de aderência à norma, é desejável que os sistemas CAD/CAM possam capturar informações das operações/estratégias de acordo com a ISO 14649. Sem este nível de conhecimento este sistema apenas traduz os ciclos do código G/M em funções básicas do STEP-NC perdendo muitas das possibilidades de operação utilizando controladores inteligentes como previsto no modelo. Isto no momento não é uma questão maior pois existem poucos protótipos de controladores inteligentes aderentes a STEP-NC. Porém, no futuro isto será um problema para sistemas que não sigam a norma em todos os aspectos.

### 3.3 Aplicabilidade de estruturas de dados em STEP-NC

O uso de estruturas de dados usando STEP-NC tem sido testado para sistemas CAM para fresamento e torneamento, tanto com estruturas internas quanto externas aos sistemas CAM. O uso de estruturas de dados aderentes a STEP-NC em software CAM deve auxiliar em muito a integração dos ambientes de projeto, planejamento e manufatura. Isto será possível caso os sistemas envolvidos sejam capazes de ler e gerar informação aderentes à STEP através da aderência ao uso dos protocolos de aplicação STEP apropriados.

## 4 Estruturas de sistemas CAD/CAM aderentes a STEP-NC

O desenvolvimento da ISO 14649 possibilita várias opções de interpretação e implementação da norma para sistemas CAD/CAM. Neste artigo os autores definem as implementações como aderentes a STEP-NC. Três estruturas de sistema são definidas e descritas a seguir:

- i) Sistema CAD/CAM que importa/exporta dados STEP-NC;
- ii) Sistema CAD/CAM com suporte a estruturas de dados STEP-NC;
- iii) Sistema CAD/CAM com núcleo (kernel) e estruturas aderentes a STEP-NC

### 4.1 Sistema CAD/CAM que importa/exporta dados STEP-NC

O primeiro modelo de estrutura sistema STEP-NC descrita na figura 3 possibilita a importação e geração de saída de dados STEP-NC. O sistema em si não é modificado. A geração de saída em STEP-NC é feita através do mapeamento da informação nativa do sistema CAD/CAM para informação STEP-NC através de pós-processador específico para ISO14649. A principal questão levantada quanto ao nível de aderência neste tipo de estrutura é que a informação tecnológica armazenada (i.e. materiais, ferramentas, fixações, dados para estratégias de usinagem) tem que ser convertidas em formato conforme a ISO14649. Deve-se notar que muitos dos sistemas atualmente em uso não terão a flexibilidade necessária para incorporar esta saída STEP-NC pois, o formato é muito diferente dos códigos G/M, além de haver a necessidade de informação geométrica adicional

e não apenas de dados de usinagem. Quando a informação é importada de STEP-NC, é traduzida no formato nativo do sistema para geometrias e dados de manufatura, usando o um importador que faz o trabalho inverso do pós-processador. Assim, com esta estrutura o sistema opera na sua forma normal, usando as suas formas nativas não aderentes a STEP-NC tanto em relação às geometrias para representação da peça quanto em relação às estratégias de usinagem apenas importando e exportado informações em STEP-NC.

#### 4.2 Sistema CAD/CAM com suporte a estruturas de dados STEP-NC

Este modelo de estrutura de sistema CAD/CAM é reconhecido por usar um suporte a gerência dados STEP-NC que podem ser mantidos interna ou externamente ao sistema. Estas duas variantes são descritas a seguir:

##### (a) Sistema CAD/CAM integrado a software externo para gerenciamento de dados STEP-NC

Neste caso, ao sistema CAD/CAM é integrado um software externo para gerência dos dados aderentes a STEP. A estrutura descrita na figura 4 mostra o sistema CAD/CAM funcionando de maneira independente ao sistema de gerenciamento das informações STEP-NC. Isto é usado não apenas para importar informação e gerar código de saída STEP-NC, mas também para interpretar as geometrias e rotinas de manufatura nativas do sistema CAD/CAM. Este sistema possui maior controle para configurar as saídas de dados do que a solução apresentada na seção 4.1

##### (b) Ambiente CAD/CAM com estruturas nativa e STEP-NC, mantidas internamente

Este modelo apresenta um sistema CAD/CAM que possui dupla representação interna de dados geométricos e de manufatura em ambos os formatos, nativo e STEP-NC. Durante a operação do sistema ambos os conjuntos de dados são atualizados em tempo real, ao invés de ser necessária a exportação através de pós-processador ou de ter uma estrutura de dados externa ao software. A figura 5 ilustra esta estrutura de sistema onde, apesar de em princípio ser semelhante à estrutura descrita no item (a), ela representa um avanço pois não há exportação de dados ou pós-processamento.

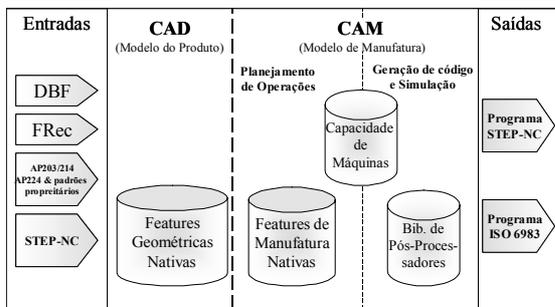


Figura 3 – Estrutura de sistema que importa e exporta dados STEP-NC [7]

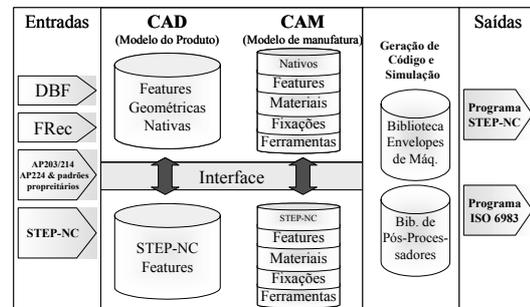


Figura 4 – Sistema CAD/CAM com interface de dados STEP-NC externa [7]

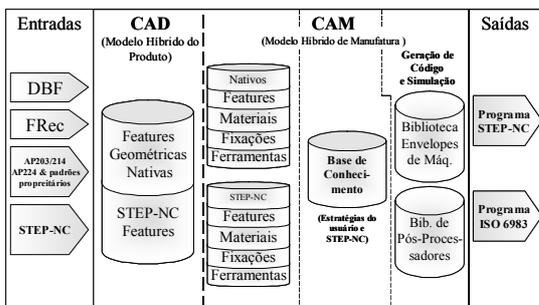


Figura 5 – Sistema CAD/CAM aderente a STEP-NC com dados compartilhados internamente [7]

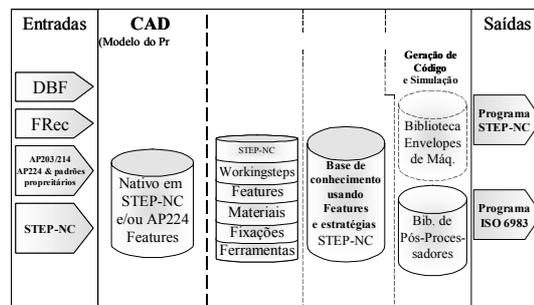


Figura 6 – Sistema CAD/CAM com núcleo e estrutura de dados interna aderente a STEP-NC [7]

### 4.3 Sistema CAD/CAM com núcleo e estrutura de dados aderentes a STEP-NC

Este nível de aderência apresentado na figura 6, é baseado na idéia de um sistema CAD/CAM que usa ISO 14649 e/ou ISO 10303-224 para os modelos geométricos e de manufatura, e tem um núcleo operacional que trabalha dentro destas normas. Os autores acreditam que esta estrutura deverá formar a base para os novos desenvolvimentos em CAD/CAM e irá possibilitar a forma mais simples e direta de geração de código em STEP-NC. Uma desvantagem desta estrutura é a necessidade de pós-processamento dos dados STEP-NC para gerar saídas em ISO 6983 para controladores CNC convencionais.

### 5 Implementação de uma estrutura de dados STEP-NC em CAD/CAM

Uma estrutura de dados aderente a STEP-NC foi projetada e implementada num sistema CAD/CAM comercial PEPS<sup>®</sup> no intuito de obter um sistema com as características da estrutura descrita na seção 4.3. Como foi salientado na seção anterior, este sistema necessita de uma estrutura de dados STEP-NC bem como um núcleo operacional que leia e opere sobre estas estruturas. A estrutura de dados STEP-NC usa um modelo orientado a objetos para descrever as entidades tais como *Workplan*, *Workingstep*, *Features*, *Operações*, *Ferramentas* assim como todas as entidades geométricas. Desta maneira cada entidade pertence a uma classe de objetos e deve ser utilizada como tal. Isto é feito apontando-se para as partes de cada objeto ao invés de telas em um único registro físico/linha. As partes da informação são também indexadas e um índice principal de entidades que gerencia a localização de cada informação. As informações são recuperadas e montadas juntas para uso no programa STEP-NC. A figura 7 descreve a estrutura de dados implementada. As informações são armazenadas em estruturas para cada classe de entidade e o programa é guiado pelos planos de trabalho descritos pela entidade *Workplan*. Cada parte do programa é recuperada/atualizada através do índice principal de entidades.

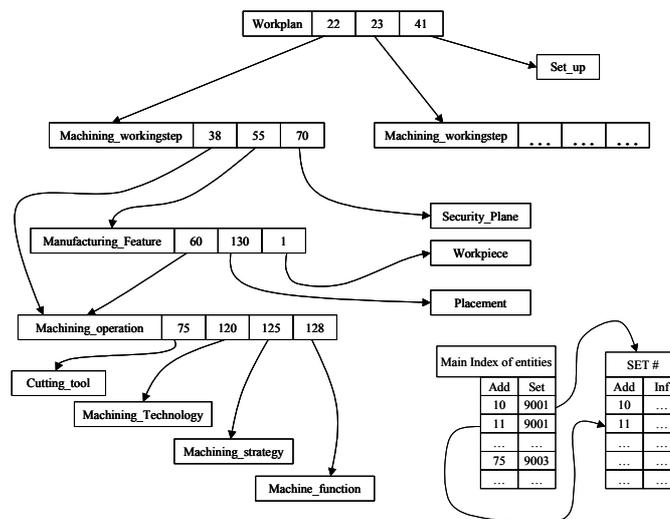


Figura 7 - A estrutura de dados implementada em PEPS.

Dada a estrutura flexível do PEPS, chamada VDM (Virtual Data Management) tem sido possível trabalhar os dados de maneira totalmente independente do núcleo nativo do PEPS. Desta maneira as *Features*, operações e todas as entidades STEP são criadas e mantidas usando apenas o novo núcleo aderente a STEP-NC.

### 6 Vantagens e estágio do desenvolvimento

O uso de estruturas de dados aderentes a STEP-NC criam as bases para o uso de modelos de informação integrados e não sujeitos a erros de interpretação. Esta abordagem é especialmente apropriada para integração de sistemas CAD/CAPP/CAM/CNC utilizando modelos de dados de produto e de manufatura. Os autores prevêm que o uso de dados aderentes a STEP desde o projeto até a usinagem da peça deverá diminuir sensivelmente o tempo de colocação do produto no mercado. Também é prevista uma significativa queda de custos devido a menor circulação de papeis,

menos erros de programação, melhor uso de recursos computacionais e de manufatura. Atualmente apenas o suporte para as geometrias CAD e *Features* para manufatura estão totalmente desenvolvidos como normas STEP, conhecidas como os protocolos AP203/AP214/AP224. As normas para CAM/CNC estão em desenvolvimento como ISO 14649 e o protocolo AP238[8] sendo que as partes relativas ao modelo geral de dados e o modelo de dado para fresamento estão em estágio final, próximo do lançamento como norma internacional (IS). Os modelos de dados para torneamento e eletro-erosão estão em estágio intermediário de desenvolvimento. Por fim, um novo protocolo para planejamento de processo de peças usinadas o ISO 10303-240[9] está em estágio inicial de desenvolvimento e irá prover os recursos para criação de um modelo de dados de processos de usinagem.

## 7 Conclusões

Este artigo discutiu três possíveis estruturas para implementações de sistemas CAD/CAM aderentes a STEP-NC. Mostra também a implementação de uma estrutura de dados aderente a STEP-NC usando um sistema CAD/CAM comercial e a construção de um novo núcleo para obter o chamado terceiro nível de aderência. O uso desta abordagem tem provado ser mais complexa que o uso de estruturas com suporte ao gerenciamento de dados. Entretanto a geração de programas STEP-NC mostra-se mais efetiva e livre dos erros semânticos devido a interpretação de modelos de dados legados. A estrutura de dados pode ser facilmente utilizada em modelos de informação para projeto e manufatura, integrados e aderentes a STEP, criando uma via livre de erros de interpretação desde o projeto até à usinagem da peça.

## 8 Agradecimentos

Os autores agradecem à Loughborough University, Universidade do Estado de Santa Catarina e ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq-Brasil) pelo apoio a esta pesquisa. Desejam também agradecer à CAMTEK (UK) Limited pelo suporte técnico prestado.

## 9 Referências

- [1] Sharon J. Kemmerer (Editor). STEP The Grand Experience. Manufacturing Engineering Laboratory. *National Inst. of Standards and Technology*. Gaithersburg (MD), July 1999
- [2] ISO 10303-1 - International Organization for Standardization - Industrial automation systems and integration –Product Data Representation and Exchange-Part 1: Overview and fundamental principles. 1994.
- [3] ISO 6983/1- International Organization for Standardization -Numerical control of machines – Program format and definition of address words – Part 1: First edition, 15/09/1982.
- [4] ISO/FDIS/DIS 14649 parts 1/10/11/111/12/121- International Organization for Standardization - Industrial automation systems and integration – Physical device control – Data model for computerized numerical controllers. Nov/2002.
- [5] M. Weck and J. Wolf. STEP-NC. “The STEP compliant NC Programming Interface: Evaluation and Improvement of the Modern Interface”. In:IMS Forum. Ascona/Switzerland, October/2001.
- [6] ISO 10303-224 - International Organization for Standardization - Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 224: Application Protocol: Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Features. Dec/2000.
- [7] R. S. U. Rosso Jr., R.D. Allen, and S. T. Newman. “Future Issues for CAD/CAM and Intelligent CNC Manufacture”. Proc. of the 19<sup>th</sup> Intern. Manufacturing Conference– Queen’s University Belfast - Belfast, N. Ireland. 28-30/August/2002. pp115-124. ISBN: 085389-8227
- [8] ISO/CD 10303-238. International Organization for Standardization -Application Protocol: application interpreted model for computer numeric controllers. Jun/2002
- [9] ISO/CD 10303-240. International Organization for Standardization-Product data representation and exchange- Application protocol: Process plans for machined products. Jan/2003.