

Pesquisa e Desenvolvimento de Operações Centradas em Rede – Desafios de Implementação do Meta-Modelo C²OLISEU

Diego de Oliveira Kallut, Daniel van Berghem Motta, André Luiz Pimentel Uruguay
Instituto de Estudos Avançados – Rod. dos Tamoios, Km 5,5, São José dos Campos, SP, CEP 12228-001

Resumo — As operações centradas em rede e o desenvolvimento de sistemas de Comando e Controle (C²) estão intimamente relacionadas, portanto a necessidade do aperfeiçoamento em C² por parte do Ministério da Defesa implica a implementação de um Meta-Modelo capaz de simular as operações centradas em rede que uma arquitetura de sistemas de C² requisita, abrangendo desde os objetos físicos até os aspectos cognitivo e organizacional. O Meta-Modelo proposto não apenas simula, mas fornece as diretrizes para a construção de flexíveis arquiteturas.

Palavras-chaves — Comando e Controle, C²OLISEU, arquitetura executável.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de realizar pesquisas relacionadas ao Comando e Controle das Forças Armadas e do MD motiva o desenvolvimento de um meta-modelo capaz de simular um ambiente complexo que abrange desde os objetos físicos até os aspectos cognitivo e organizacional.

A definição de sistemas complexos, cujo meta-modelo se propõe a simular, se aplica aos casos em que diversas entidades são colocadas para operar geograficamente dispersas num ambiente incerto, parcialmente observável, tentando atingir um objetivo global de modo sinérgico.

O meta-modelo proposto é denominado C²OLISEU (Sistema de Componentes para Concepção Operacional, Aplicações de Sistemas de Apoio à Decisão e Engenharia de Sistemas), cujo propósito é ser usado como plataforma de simulação para o estudo de novas concepções de emprego do Poder Militar, em especial do Poder Aéreo, além da Engenharia de Sistemas de Comando e Controle (C²) de grande porte.

Por ter como uma das motivações o uso em pesquisa científica, o C²OLISEU deve ser bem flexível para que possa suportar um grande número de experimentos com suas diversas arquiteturas.

O meta-modelo C²OLISEU faz uso de conceitos derivados do *framework* DoDAF [1], largamente adotado pela indústria para representar arquiteturas de sistemas. Isso facilita o entendimento de eventuais resultados da pesquisa científica por parte de engenheiros e administradores de sistemas, agilizando, assim, o processo de inovação em Comando e Controle.

A próxima seção introduz o emprego do meta-modelo C²OLISEU, mostrando as oportunidades de aplicação. São apresentados os principais conceitos, seguido pela arquitetura de um componente de *software* do ambiente de simulação denominado *kernel*, que faz uso dos conceitos do meta-modelo C²OLISEU. A instanciação de um modelo usando os conceitos C²OLISEU permitirá que a descrição integrada de uma

arquitetura de sistemas de C² seja computacionalmente executável e, portanto, analisável dinamicamente.

II. O EMPREGO DO META-MODELO C²OLISEU

O sistema C²OLISEU deve suprir as necessidades das seguintes macro-oportunidades, citadas abaixo, sem ordem de relevância ou prioridade:

- Gerar novos conceitos para sistemas de apoio à decisão, visando a incrementar a qualidade das decisões nos níveis estratégico e operacional;
- Estudar conceitos relativos à Guerra Centrada em Redes. Explorar quais as possibilidades para a construção de forças centradas em rede no contexto orçamentário e de cultura organizacional militar brasileiro de médio e longo prazo;
- Apoiar o esforço de Engenharia de Sistemas em projetos de C² de grande porte e complexidade, como é o presente caso dos projetos do Satélite Geoestacionário Brasileiro (SGB), Sistema Tático de Enlace de Dados (SISTED) e da solução de interoperabilidade de dados entre os diversos Centros de C² no nível operacional;
- Apoiar o Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais (PPGAO) do ITA em temas relacionados à problemática de C². Opcionalmente, alunos de outros programas de Pós-Graduação podem vir a ser usuários do sistema, dentro de um escopo controlado e autorizado pelo IEAv; e
- Com os resultados obtidos na concepção da arquitetura destinada a realizar as visões acima, auxiliar na concepção e evolução de outros projetos envolvendo Modelagem & Simulação no âmbito da Força Aérea e da Defesa em geral.

III. MODOS DE OPERAÇÃO E USUÁRIOS

O C²OLISEU possui quatro modos principais de operação: administração, planejamento, execução e avaliação. Além disso, quatro papéis são previstos: administrador, projetista de experimento, operador e observador. Os modos de operação são únicos para cada usuário, ou seja, o sistema todo pode estar operando em diversos modos, um para cada usuário.

No modo de administração o administrador define os projetos de simulação, quais usuários trabalharão num dado projeto e qual o papel de cada um deles, definindo, assim, seus perfis de acesso.

No modo de planejamento o projetista de experimento delinea qual o cenário, qual a arquitetura e quais as variáveis e métricas de interesse para o experimento.

No modo de execução o operador controla a execução da simulação. Ainda neste modo existem três sub-modos: operacional, sistêmico e enlace. No sub-modo operacional a visão operacional da arquitetura é simulada. De maneira idêntica, no sub-modo sistêmico a simulação é executada usando os conceitos da visão sistêmica da arquitetura. Por último, no sub-modo enlace são usados modelos mais acurados de comunicação, em substituição a alguns dos conceitos do DoDAF.

No modo de avaliação o operador tem acesso aos dados de interesse (variáveis e medidas) que foram registrados ao longo de cada experimento.

Os usuários desempenhando o papel de observadores apenas acompanham a execução dos experimentos naquilo que for apresentado visualmente, com funções de controle dessa visualização.

O administrador, ao definir um projeto, será capaz de realizar diferentes experimentos modificando a arquitetura e/ou cenário a ser executado. Pode-se utilizar uma mesma arquitetura em diferentes cenários ou um mesmo cenário com diferentes arquiteturas, possibilitando analisar um conjunto de arquiteturas de sistemas de C² segundo um conjunto de métricas. A Fig. 1 ilustra tais possibilidades segundo um modelo entidade-relacionamento.

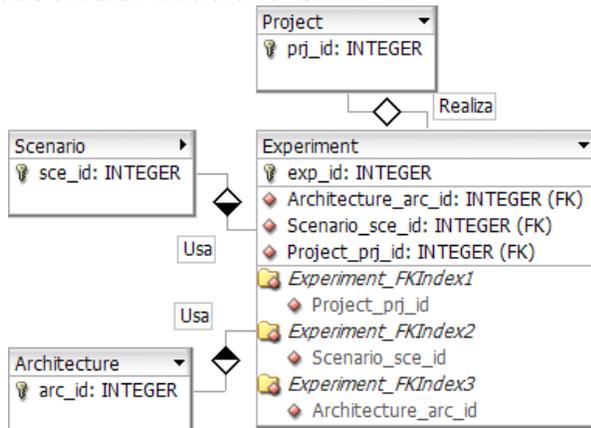


Fig. 1: Modelo entidade relacionamento entre projeto, experimento, arquitetura e cenário.

IV. DESCRIÇÃO DO META-MODELO C²OLISEU

Considerar um sistema como uma rede implica que estamos prestando atenção para a sua arquitetura, pretendendo estudar sua estrutura e organização. Para facilitar a comparação entre esses sistemas, muitos *frameworks* arquiteturais foram desenvolvidos para padronizar tais sistemas, como o MoDAF [2] e o DoDAF. O C²OLISEU utiliza o DoDAF como base para seus conceitos.

Em conformidade com os conceitos da guerra centrada em redes, o C²OLISEU apresenta quatro domínios chaves: o sócio-organizacional, o cognitivo, o da informação e o físico. Cada um possuindo seus conceitos e respectivas definições. A Fig. 2 mostra como esses conceitos estão organizados nos domínios:

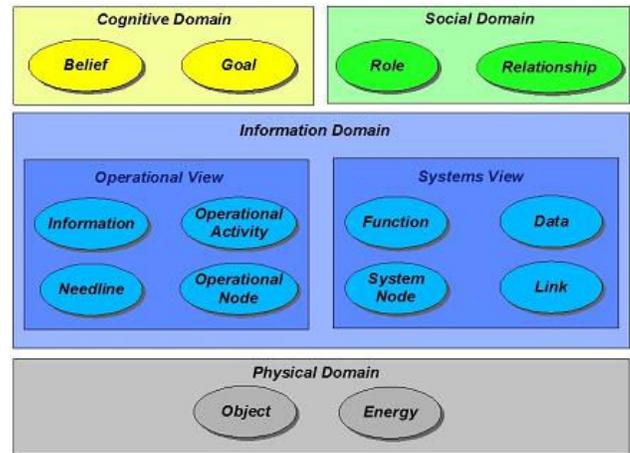


Fig. 2: Os quatro domínios-chave do meta-modelo C²OLISEU.

Domínio Sócio-Organizacional (*Social Domain*) – Compreende basicamente os papéis organizacionais dos elementos de um sistema de C² e seus relacionamentos.

Conceitos:

- *Papel (Role)* – É um conjunto de restrições que uma entidade deve aceitar sobre seu comportamento a fim de se tornar membro de uma organização. Esses papéis estão relacionados aos objetivos com os quais a organização espera que um agente, denominado *Nó*, se comprometa.
- *Relacionamento (Relationship)* – Indica como dois papéis interagem entre eles próprios. Algumas instâncias de relacionamentos podem ser comando, coordenação, coalizão ou controle.

Domínio Cognitivo (*Cognitive Domain*) – Representa as crenças e objetivos dos nós operacionais e sistêmicos, ou seja, a noção de modelos mentais e de intencionalidade dos elementos do sistema.

Conceitos:

- *Crença (Belief)* – É um fato conhecido por cada *Nó*, seja um *Nó Operacional* ou *Nó Sistêmico*. É o resultado da percepção aplicada para informação/dados coletados pelo *Nó*.
- *Objetivo (Goal)* – Representa intenção de um *Nó*, isto é, seu desejo, o objetivo que o *Nó* é admitido possuir.

Domínio da Informação (*Information Domain*) – Compreende os elementos responsáveis pela geração, intercâmbio, armazenamento e uso da informação num sistema de C², representados tanto pela visão operacional como pela sistêmica.

Conceitos:

- *Nó Operacional (Operational Node)* – Nós que realizam determinados papéis dentro de uma estrutura organizacional.
- *Atividade Operacional (Operational Activity)* – Ações realizadas que conduzem os negócios de uma iniciativa.
- *Informação (Information)* – Refinamento de dados através do conhecimento das convenções e do contexto.
- *Needline* – Um requisito que é uma expressão lógica da necessidade de transferir informação entre *Nós Operacionais*.

- *Nó Sistêmico (System Node)* – Nós com identificação e alocação de recursos (como plataformas, unidades, instalações) requeridas pela implementação de papéis específicos.
- *Função (Function)* – Converte dados para suportar a automação de atividades operacionais ou troca de informações.
- *Dados (Data)* – Representação de individuais fatos, conceitos ou instruções de maneira adequada para comunicação e interpretação para processamento por humanos ou por meios automáticos [3].
- *Link* – Representa a realização física da conexão entre os Nós Sistêmicos, em que os dados são transferidos.

Domínio Físico (Physical Domain) – Compreende os Objetos e Energia.

Conceitos:

- *Objeto (Object)* – Representa uma entidade no domínio físico. É a instanciação da matéria física associada com um Nó ou um conjunto de Nós.
- *Energia (Energy)* – É a expressão de muitas formas (eletromagnética, acústica, termal, mecânica) da relação entre os objetos do domínio físico.

Um exemplo simplificado das inter-relações entre os quatro domínios-chave do C²OLISEU é apresentado na Fig. 3.

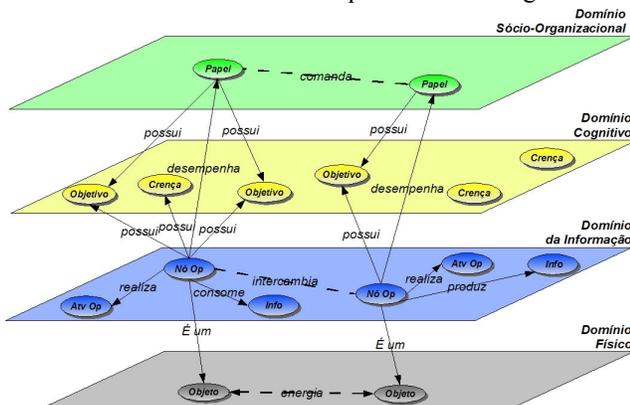


Fig. 3: As inter-relações entre os quatro domínios-chaves.

V. O AGENTE C²OLISEU

Partindo do princípio de que os elementos de um modelo C²OLISEU podem possuir cognição, é útil modelar processos básicos de percepção, comunicação e ação. A Fig. 4 descreve, em alto nível, um agente abstrato C²OLISEU. Cada Nó pode desempenhar papéis (*roles*) a fim de se tornar um membro de uma organização. O Nó comprometido com certos papéis pode atingir certos objetivos (*goals*). Como o Nó pode ter qualquer grau de autonomia, ele também pode ter objetivos individuais. E sendo um membro de uma organização, um dado Nó está sujeito às relações entre seus papéis com os de outros Nós, ditados pela estrutura organizacional do domínio social.

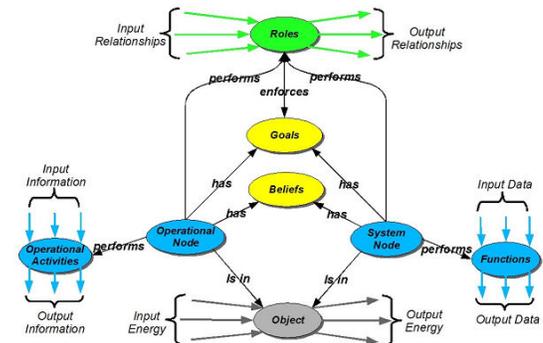


Fig. 4: A arquitetura de um agente C²OLISEU.

Um Nó pode ter crenças (*beliefs*), que nós podemos assumir como parte do contexto de seus conhecimentos. Uma vez que o Nó tem seu objetivo definido, ele pode usar suas crenças para selecionar uma Atividade Operacional (se for um Nó Operacional) ou uma Função (se for um Nó Sistêmico) para tentar completar os objetivos a que se propôs. Este é um processo de deliberação muito similar ao usado em agentes BDI (*Belief, Desire, Intention*) [4] encontrados em alguns ambientes de desenvolvimento cognitivo, como, por exemplo, o *JACK Intelligent Agents* [5].

VI. A ARQUITETURA DO KERNEL DO C²OLISEU

O Meta-Modelo C²OLISEU possui uma estrutura cliente/servidor que possibilita seu uso remotamente e o acesso simultâneo de vários usuários utilizando os diferentes modos de operação já discriminados. A estrutura cliente C²OLISEU não é tratada neste artigo, que aborda a estrutura servidor, em especial o componente *kernel*.

O servidor C²OLISEU é composto de cinco componentes: *Kernel, External Models, GIS (Geographic Inference System), Manager* e *Metrics*. O *kernel* é o componente que interage com todos os outros quatro através de interfaces.

A. Interfaces e Componentes

Uma descrição de alto nível dos componentes e das interfaces que os ligam é fornecida a seguir.

- *IKernelExternalModels* – Interface fornecida pelo *kernel* para o componente *External Models*, que é responsável por manter as especificações técnicas dos objetos físicos que estão presentes no experimento a ser executado.
- *IExternalModelsKernel* – Interface fornecida pelo componente *External Models* para o *kernel*.
- *IKernelGIS* – Interface fornecida pelo *kernel* para o componente GIS (*Geographic Inference System*), que é responsável pelo georreferenciamento dos objetos físicos no cenário a ser utilizado.
- *IkernelManager* – Interface fornecida pelo *kernel* para o componente *Manager*, que é responsável por gerenciar o início e o término da simulação, quais a arquitetura e cenário serão usados, bem como os modos de operação.
- *IkernelMetrics* – Interface fornecida pelo *kernel* para o componente *Metrics*, que é responsável por associar as

métricas escolhidas pelo projetista a um experimento de simulação.

Essas cinco interfaces interligando os cinco componentes podem ser visualizadas na Fig. 5 abaixo:

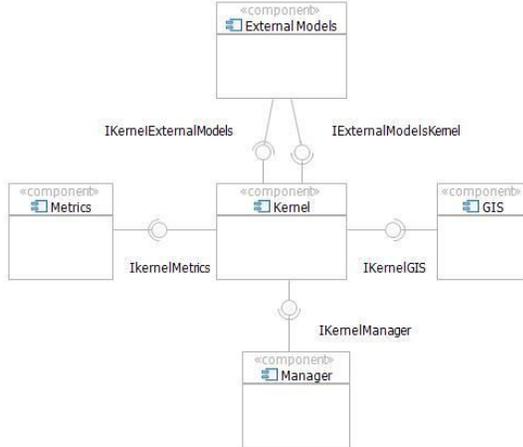


Fig. 5: Principais componentes do servidor C²OLISEU.

B. Classes

Para acomodar e relacionar os quatro domínios-chaves do sistema C²OLISEU, o *kernel* faz uso de grafos, pois possibilita uma melhor observação das inter-relações entre os papéis, os *Nós Operacionais*, os *Nós Sistêmicos* e os objetos físicos. Dessa forma as classes *Role*, *OperationalNode*, *SystemicNode* e *PhysicalObject* estendem a classe *Vertex*, e as classes *Relationship*, *Link*, *Needline* e *Energy* estendem a classe *Edge*, formando um grafo com quatro tipos de vértices e quatro tipos de arcos. Isso torna possível visualizar, através de filtros, as visões sócio-organizacional, operacional, sistêmica e física separadamente.

A Fig. 6 mostra o diagrama de classes simplificado do *kernel*, com as principais funcionalidades dos domínios sócio-organizacional, da informação e físico.

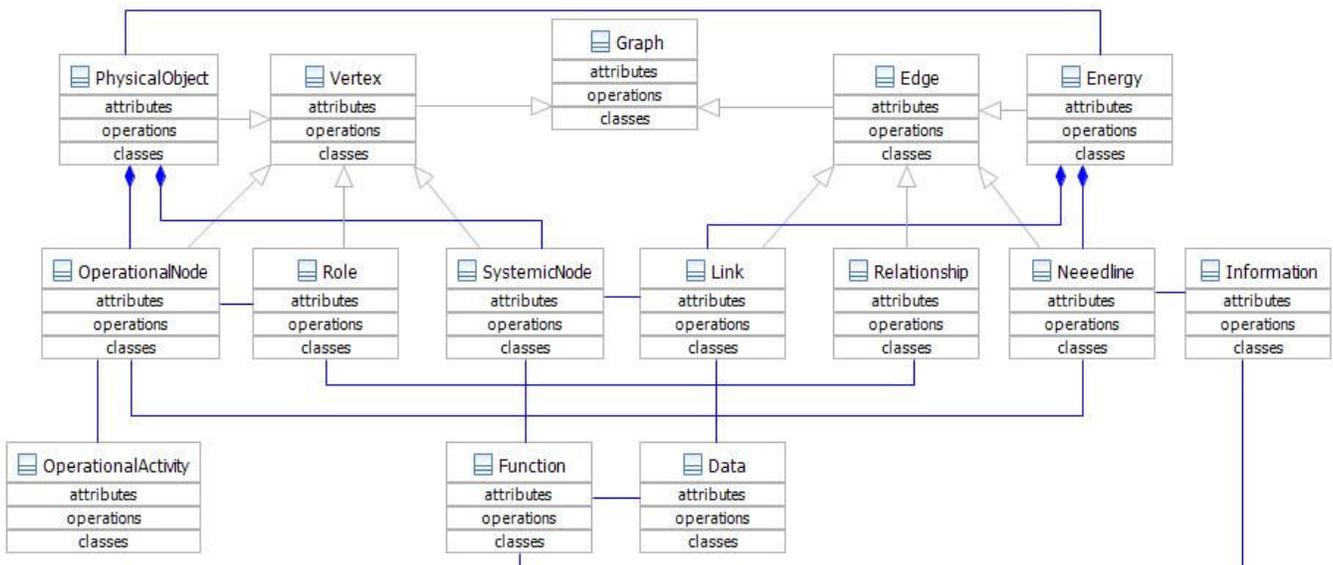


Fig. 6: Diagrama de classes simplificado do *kernel*.

VII. INSTANCIACÃO DE UM MODELO C²OLISEU

Como citado anteriormente, no modo planejamento o projetista de experimento define o cenário, a arquitetura e as métricas a serem utilizadas. Tendo definido tais parâmetros, o projetista pode então instanciar um modelo C²OLISEU.

Antes da confecção do cenário, faz-se necessário que o componente *External Models* já esteja pronto. Esse componente deve possuir as especificações técnicas mínimas necessárias para a simulação de cada objeto físico, como por exemplo se um aparelho a ser simulado é um radar, o mínimo que se deve saber sobre ele é seu alcance e sua velocidade de varredura. Porém, o componente *External Models* é implementado fora do *kernel* para prover flexibilidade no grau de resolução dos modelos detalhados, de acordo com o propósito de cada experimento.

Uma vez que o componente *External Models* já possui todos os objetos que o projetista deseja em seu experimento, é o momento de georreferenciá-los no componente GIS para que se tenha a disposição espacial requerida. Feito isso, os objetos físicos estão prontos para serem instanciados na camada física do C²OLISEU, constituindo o cenário.

A confecção da arquitetura corresponde à parte mais delicada do projeto de um experimento, pois envolve a definição de quais objetos físicos são caracterizados como nós operacionais e quais são os nós sistêmicos. Concluída essa escolha, são instanciados os nós das camadas operacional e sistêmica que guardam uma referência aos seus objetos físicos correspondentes.

A próxima etapa então é definir as inter-relações dessas camadas, especificando como e com quem cada nó se comunica. Essas inter-relações são instanciadas como sendo do tipo *link*, para a camada sistêmica, e *needline*, para a camada operacional. Dessa forma ficam interligados os nós do grafo que representa o experimento e reflete a arquitetura.

Os agentes inteligentes são definidos em ferramenta específica, como o JACK supracitado, mas inseridos no modelo do *kernel*

e referenciados com os nós operacionais e sistêmicos já instanciados.

Com as etapas acima finalizadas, já é possível executar o experimento, pois os domínios físico, da informação, cognitivo e sócio-organizacional já estão interligados. Porém de nada adiantaria sem a escolha das métricas para mensurar algum aspecto que se quer analisar do experimento. Por isso o projetista deve selecionar as métricas adequadas a partir do componente *Metrics*. Algumas métricas já foram exemplificadas [6], porém o tema é assunto de constante pesquisa, e é esperado que o componente de métricas esteja sempre evoluindo, de acordo com os resultados da Pesquisa Operacional.

As definições citadas anteriormente, de quais objetos serão instâncias das classes *PhysicalObject*, *SystemicNode*, *OperationNode* ou *Role*, como também quais de suas inter-relações serão instâncias das classes *Energy*, *Link*, *Needline* ou *Relationship*, são implementadas num arquivo *xml* de configuração.

Como exemplo tem-se a instanciação da aeronave E-99 como um objeto físico, que é feita a partir de uma instrução no arquivo *xml* de configuração. A instância gerada pelo *xml*, *PhyObject* proveniente da classe *PhysicalObject*, referente-se ao E-99 e busca na tabela *Phy_Object_DB* do banco de dados o endereço do arquivo *E-99ExtModel.class*, pertencente ao componente *ExternalModels* e que contém toda a dinâmica de voo e características estruturais da aeronave E-99. De posse desse endereço, *PhyObject* instancia *E-99ExtModel.class* e passa a ter um modelo completo da aeronave E-99 no plano físico.

A Fig. 7 mostra a seqüência para instanciar a aeronave E-99 no domínio físico.

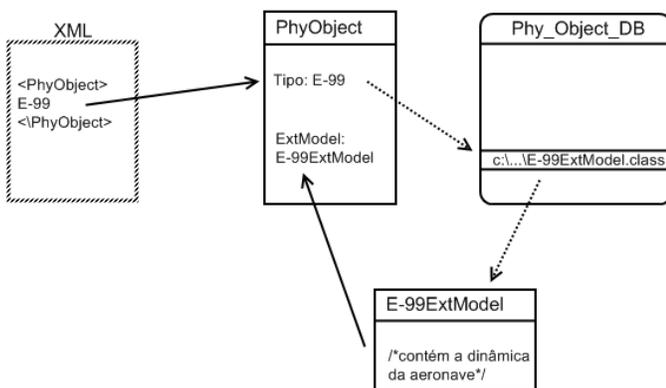


Fig. 7: Instanciamento da aeronave E-99.

VIII. CONCLUSÃO

O meta-modelo C²OLISEU introduz os conceitos suficientes para a simulação de uma arquitetura executável com o uso de inteligência artificial, propiciando a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas de Comando e Controle. Para isso o C²OLISEU utiliza quatro domínios-chave: sócio-organizacional, cognitivo, da informação e o físico para abranger qualquer tipo sistema existente no mundo real que englobe máquinas e humanos.

O uso de grafos para representar os objetos e seus relacionamentos mostra-se eficiente tanto para projetar a arquitetura quanto para a visualização das operações em tempo de execução.

A implementação do meta-modelo C²OLISEU mostra-se um grande desafio de engenharia de *software*, principalmente por possuir como requisitos a flexibilidade e o reuso dos projetos de cenários e arquiteturas.

REFERÊNCIAS

- [1] DoD Architecture Working Group, 2007.
- [2] MODAF Partners, 2005.
- [3] IEEE, 1990.
- [4] Rao and Georgeff, 1995.
- [5] Lucas and Goss, 1999, Wallis et al 2002
- [6] Uruguay et al, "C²OLISEU - A Meta-Model for Research and Development of Complex Network Centric Operations" IEAv, 2008, pp.13 - 1