

## CARACTERIZAÇÃO DE GRAUS DE COMPLEXIDADE NO USO DO MODELO NTPC

**Flávio de Azevedo Corrêa Jr.**

Instituto de Aeronáutica e Espaço - Pça. Eduardo Gomes, 50- S. José dos Campos - SP- Brasil - CEP:12228-904,  
Coordenadoria de Projetos Espaciais, flaviofacj@iae.cta.br

**Patrícia Cristiane Santana da Silva**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Av. dos Astronautas, 1758- S. José dos Campos - SP- Brasil -  
CEP:12227-010, Laboratório Associado de Sensores e Materiais, patricia.engpro@gmail.com

**Eder Paduan Alves**

Instituto de Aeronáutica e Espaço - Pça. Eduardo Gomes, 50- S. José dos Campos - SP- Brasil - CEP:12228-904,  
Divisão de Mecânica, ederavcp12@terra.com.br

**Milton de Freitas Chagas Jr.**

Instituto Tecnológico da Aeronáutica - Pça. Eduardo Gomes, 50- S. José dos Campos - SP- Brasil - CEP:12228-  
900, Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, miltonfc@ita.br

**Abstract:** *O artigo propõe a substituição da escala ordinal de medidas de níveis hierárquicos de sistemas e subsistemas adotada para a dimensão “complexidade” no modelo NTPC (“abordagem DIAMANTE”) de Shenhar & Dvir, por uma escala ordinal de graus de complexidade, subdividida em um maior número de graus, como forma de possibilitar uma melhor comparação “interna” entre diferentes medidas de um programa/projeto, ou “externa” com relação a outros programas/projetos.*

*Reproduz os resultados obtidos através da aplicação do modelo NTPC na identificação de diferenças de programas espaciais na NASA (National Aeronautics and Space Administration), efetuado por Sauser et alli. (2005), com foco na busca da melhor compreensão da gestão de projetos de sistemas estratégicos daquela Agência, e efetua uma análise comparativa do modelo NTPC entre dois projetos aeroespaciais do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), o projeto do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) e o projeto do foguete de sondagem VSB-30, utilizando como comparação uma escala de “complexidade” do modelo NTPC original versus uma escala de graus de complexidade com o número de níveis expandido, identificando o melhor ganho de expressão obtido para a “complexidade”.*

**Keywords:** *complexidade, NTPC*

### 1 Introdução

Diversos são os benefícios que o gerenciamento de projetos pode proporcionar a organização, sendo possível dentre outros, citar (KERZNER, 2003):

- a) a identificação de responsabilidades, assegurando seu cumprimento independentemente de mudanças de pessoal;
- b) a diminuição da necessidade de emissão de contínuos relatórios;
- c) a identificação de prazos factíveis;
- d) a identificação de uma metodologia para a análise de *tradeoffs*;
- e) a realização de medições comparativas entre o realizado e o planejado;
- f) a identificação antecipada de problemas possibilitando que ações possam ser tomadas;
- g) a melhoria na capacidade de planejamento para o futuro;
- h) o conhecimento de quando os objetivos não poderão ser alcançados ou quando serão excedidos em sua expectativa.

Estes benefícios são alcançados quando se têm cuidados frente a certos aspectos críticos tais como (KENZNER, 2003):

- a) complexidade do projeto;
- b) requisitos dos clientes e mudanças de escopo no projeto;
- c) reestruturações organizacionais;
- d) riscos do projeto;
- e) mudanças tecnológicas; e,
- f) planejamento financeiro.

Dentro desta perspectiva, o presente artigo irá se ocupar do item “complexidade do projeto”, dentro de um enfoque na área aeroespacial, área típica onde a gestão da alquimia voltada à operacionalização de um satélite ou ao lançamento de um foguete possui uma natureza muito complexa.

Projetos aeroespaciais são tipicamente caracterizados por uma tecnologia avançada, diferentes tipos de missões, complexas integrações entre hardware e sistemas de software, e por cronogramas de tempo inflexíveis ditados por “janelas de lançamentos” (SHENHAR, 2006). No Brasil, em particular, os projetos espaciais também se encontram sujeitos a restrições de compras, a falta de recursos humanos e financeiros, a política de embargo internacional, a política de governo e a perda de capacitação das Instituições desenvolvedoras. Tais fatores agregam incertezas e adensam as dificuldades naturais da gestão alterando o grau de complexidade dos projetos e afetando o planejamento das Instituições frente às frequentes alterações de prazos.

Analisando unicamente o lado técnico executivo dentro do contexto geral de gerenciamento, ambos "projeto" e "gestão de projetos" podem ser definidos em termos muito básicos. Porém, embora existam textos e manuais escritos sobre gestão de projetos que nos apresentam definições padrão, teorias, processos e estratégias a serem aplicadas a projetos em geral, verifica-se que cada projeto possui sua complexidade própria. De fato, segundo Drejer (1996), a complexidade de um projeto sozinha altera o estilo de gestão e a estratégia do projeto. Assim, fica claro que nenhuma abordagem pode resolver a todos os problemas de gestão, da mesma forma que não existe uma estratégia que possa ser universalmente aceita como a melhor para utilização em todos os tipos de projetos. Esta é uma ideia também corroborada por Shenhar e Dvir (2010) que sustentam que a aplicação do estilo errado pode levar ao fracasso do projeto.

## 2 Conceitos Teóricos

### 2.1 “Complexidade” - teoria e uso

Segundo Houaiss (2012), a “complexidade” é definida como sendo a qualidade de ou conjunto, tomado como um todo mais ou menos coerente, cujos componentes funcionam entre si em numerosas relações de interdependência ou de subordinação, de apreensão muitas vezes difícil pelo intelecto e que geralmente apresentam diversos aspectos.

Para Shenhar e Dvir (2010), a “complexidade” é uma medida do escopo do projeto que se reflete em características como o número de tarefas e o grau de interdependência entre elas. Na gestão de projetos, ela representa tanto uma oportunidade embasada no nível de investimento quanto um risco associada à complexidade (ou tamanho). Os riscos envolvidos com a complexidade são tanto organizacionais quanto técnicos. À medida que a complexidade aumenta, o número de componentes aumenta, assim como a necessidade de interações e coordenação (SHENHAR & DVIR, 2010). Foi observado por Shenhar e Dvir (2010) que os vários níveis de complexidade do produto são gerenciados de maneiras similares, sendo assim, a complexidade do projeto mostra menos variabilidade do que a complexidade do produto, levando a abordagem dos níveis de complexidade do produto (definidos como: material, componente, subsistema e montagem; sistema; plataforma de sistemas; e matriz ou sistema de sistemas) a serem tratados de modo similar aos níveis abordados pela complexidade de projeto (montagem, sistemas e matriz).

Já Simon (1996) define “sistema complexo” como um sistema composto por um grande número de peças que interagem de uma maneira não simples. Em tais sistemas, o todo é mais do que a soma das suas partes, não em um sentido metafísico extremo, mas dentro do importante senso pragmático onde, dado as propriedades das partes e as leis de interação, verifica-se não ser uma questão trivial inferir nas propriedades do todo.

Para o New England Complex Sistemas Institute, o estudo de sistemas complexos trata da compreensão dos efeitos indiretos. Problemas que são difíceis de resolver são muitas vezes difíceis de entender porque as causas e os efeitos não são/estão obviamente relacionados. Dentro em um sistema complexo o " aqui" muitas vezes tem efeitos no "lá" porque as partes são independentes. Isso significa que projetos complexos muitas vezes não se comportam da maneira que esperamos. Em particular efeitos dentro de projetos complexos são muitas vezes retardados e/ou levam tempo para surgirem. As relações causais entre as primeiras indicações ou incidentes e os últimos resultados raramente são óbvias, mas são muitas vezes muito complexas. Ambos, Simon e o New

England Complex Sistemas Institute, promovem novos conceitos de “complexidade” frente ao apregoado por Shenhar e Dvir.

Tradicionalmente, a “complexidade” de um programa/projeto é um conceito de difícil definição, porém não se verifica facilmente na prática a transmissão de conhecimento voltada à melhor gestão de programas/projetos conceituados como complexos.

Na gestão, a “dimensão ‘complexidade’ foi utilizada por Clark e Fujimoto (1991) para distinguir os diferentes tipos de projetos, com relação às características do produto final do projeto de acordo com duas dimensões: a complexidade da estrutura interna do produto e a complexidade da interface do produto com o cliente. Uma das primeiras tipologias bidimensionais que consideram a incerteza e a complexidade no contexto de gerenciamento de projetos foi a proposta por Cleland e King (1967, 1983). Maximiano (1997) também apresenta um modelo bidimensional, no entanto considera apenas dois níveis para incerteza e complexidade. A complexidade pode ser avaliada através da multidisciplinaridade necessária para a execução do projeto, diversidade e volume de informações a serem processadas, o número de organizações envolvidas, entre outros aspectos” (RABECHINI & DE CARVALHO, 2009).

Apesar de um uso prático crescente no gerenciamento de projetos e de uma preocupação crescente da literatura de inovação de se ocupar da construção de novas tipologias, na literatura de projetos o tema é relativamente novo e ainda possui uma base teórica escassa, onde os conceitos fundamentais ainda são emergentes. Exemplo da grande abrangência que pode conter os estudos voltados a “complexidade” é encontrada também nos trabalhos de Cicmil *et alli* (2006). Pesquisando a “complexidade” como um aspecto-chave da realidade do projeto de acordo com os fundamentos conceituais e metodológicos da pesquisa de gestão de projetos, Cicmil e Marshall [30] utilizaram seus conhecimentos da teoria da complexidade em processos [5, 9, 14] e de uma ontologia própria [8, 31] para propor um quadro crítico para a conceituação da natureza complexa dos projetos sob o ponto de vista do executor, que tipos de conhecimento são considerados úteis na prática cotidiana e em suas realidades locais, e de que tipo de habilidades e competências é relevante considerar. Esta é uma visão diferenciada e complementar, baseada no *sense making* expresso por uma investigação cooperativa de pesquisadores e profissionais, que poderá ser explorada futuramente para auxiliar a definir o estilo de gestão mais adequado a realização de projetos.

## 2.2 Teoria de Acidentes Normais

Segundo Guimarães & Alves (2010), a teoria que passou a ser conhecida como teoria dos acidentes normais (*Normal Accidents Theory* - NAT) está associada aos trabalhos de Charles Perrow que se envolveu nos idos de 1970 na avaliação do acidente nuclear de *Three Mile Island* (PERROW, 2004, p. 9). Após esse contato, o autor se deteve na investigação de outros eventos de natureza similar, buscando comparar seus *insights* e consolidar um referencial mais amplo para a compreensão dos fenômenos organizacionais envoltos nos acidentes. Tal busca teve como primeiro grande produto a redação da obra na qual cunhou o termo acidentes normais (PERROW, 1999 [1984]).

O constructo teórico dos acidentes normais calca-se em duas dimensões centrais: as interações e os acoplamentos entre componentes e entre sistemas. As interações aqui são ou lineares ou complexas. No primeiro caso, o que se tem pela frente são situações esperadas e familiares, e mesmo quando não planejadas, são muito visíveis. Já as interações complexas caracterizam-se pelo inusitado, sem serem planejadas e, quando compreensíveis, o são apenas em momentos posteriores.

Guimarães & Alves (2010) argumentam que pode surgir a indagação do por que a anteposição dos conceitos de complexidade e linearidade, se ambos não são antípodas. Para um evento complexo, afinal, esperar-se-ia, no polo oposto, um evento simples; para um evento linear, na outra margem ter-se-ia um evento não linear. Perrow ensina que as interações são lineares quando são facilmente compreendidas, e o adjetivo simples denota algo pouco sofisticado, com poucas engrenagens e de fácil gerenciamento. A não linearidade, por seu turno, não está impregnada da noção de incompreensão (PERROW, 1999 [1984]). Guimarães e Alves (2010) advertem que o batizado de uma interação vem da predominância de um ou outro aspecto. Nas coisas concretas usualmente encontra-se as duas possibilidades. O analista precisa ter o discernimento de distinguir as facetas mais relevantes, sem ter à mão regras de bolso. O cuidado que Perrow avisa é que não há identidade entre os conceitos de linearidade com as condições físicas e materiais, nem a complexidade está umbilicalmente presa a tecnologias de última geração. Ou seja, a empreitada tem que ter a sua condução de maneira laboriosa e longe está de ser trivial. Um parâmetro que Perrow (1999 [1984]) fornece é uma lista resumida de atributos que costumam estar presentes em sistemas complexos, a saber: proximidade das partes; conexões entre componentes sem seguir uma sequência; sequências de feedback não intencionais; muitos parâmetros de controle com potenciais interações; fontes indiretas de informação; e, entendimento limitado de alguns processos. Esses atributos, com “sinal

negativo”, encontram-se nos sistemas lineares. Conquanto possa transparecer que uma condição linear seja preferível de sorte a facilitar o gerenciamento das organizações, a ideia não é exequível e tão pouco desejada. A limitação prática para linearizar a vida das organizações está no próprio conhecimento disponível, que não tem um acervo capaz de alterar, do jeito pretendido, todas as interações. Em outro sentido, a redução dos modelos de interação para um padrão único solaparia a diversidade e a criatividade que a multiplicidade propicia.

A dimensão do acoplamento (*coupling*) sugere atentar para a flexibilidade que as organizações possuem para administrar o tempo entre uma operação e outra em seus sistemas, o que concorre para a maior ou menor possibilidade de ajustes nos procedimentos, na alocação de recursos e na implementação de correções. A depender do grau observado, os acoplamentos podem ser justos (*tight*) ou frouxos (*loose*). A situação de acoplamento justo é essencialmente dependente dos tempos planejados para a ocorrência das ações. Isso pode derivar da eficiência viabilizada pelo projeto e também pela gestão da operação. A opinião de Perrow (1999 [1984]) é que o mais frequente, ainda assim, explica-se pela inelasticidade do funcionamento. Para os sistemas de acoplamento frouxo a espera é factível, sem afetar o produto e suas características essenciais. Os planos de contingência são capazes de serem ativados, e em algumas situações nem isso é requerido; basta aguardar em standby que o fluxo normal de matéria e energia será recomposto.

Um aspecto bastante peculiar dos acoplamentos justos, como mencionado, é que a sequência das ações é rígida. Desta forma, no mais das vezes há um único caminho de produção, enquanto a tecnologia vigorar.

Como desdobramento das características enunciadas, infere-se que a capacidade de resposta frente a falhas é mais viável diante de sistemas pouco acoplados. Quando o que está em operação consiste em um sistema de acoplamento justo, é admissível o planejamento de zonas de amortecimento e de mecanismos de redundância. E, dependendo da envergadura dos acontecimentos, a funcionalidade do que foi implantado poderá ficar reduzida a zero (CLARKE; PERROW, 1996), além do que a redundância pode vir a ampliar o problema (SAGAN, 2004). No acoplamento frouxo, pelo contrário, até a inexistência de medidas elementares de segurança é capaz de não se fazer sentir, sendo suprida por uma ação emergencial pensada no clamor do problema.

Não obstante sua teoria tenha Perrow (1994) prescreveu seis características que os sistemas podem assumir para reduzir falhas: experiência com operações em escala; experiência com as fases críticas da operação; processamento das informações sobre os erros; proximidade com as elites pelo motivo do poder estar nelas concentrado; controle organizacional sobre os integrantes da organização, sem esquecer que a intensidade e forma de controle precisam ser adequadas ao trabalho; e, densidade organizacional externa rica para que os atores de fora insuflam as medidas de segurança. A observância destas características não garante que os desastres deixarão de ocorrer, só que, ao invés da prevalência de sistemas indutores de erros, ter-se-ão sistemas com dinâmicas preventivas. Perrow permanece coerente com seu postulado de que há situações que sempre terão potencial disruptivo; sua ressalva é que a mudança de sistemas indutores é capaz de reduzir a probabilidade dos pequenos erros que se transformam em cataclismos.

### 2.3 A Gestão de Sistemas e Produtos Complexos em Organizações voltadas ao Projeto

Hobday (2000) por sua vez sustenta que a complexidade dos produtos pode ser caracterizada como uma questão de grau. Hobday (1998) apresenta várias dimensões da complexidade de produto, incluindo o número de componentes, o grau de personalização de ambos os sistemas e os componentes, o número de escolhas de projeto, a elaboração de arquiteturas de sistema, a abrangência, a profundidade de conhecimento e a habilidade necessários para realização, e a variedade de materiais e de informação necessárias. De acordo com uma amálgama de tais dimensões, alguns produtos podem ser classificados como "extremamente" complexo, incorporando muitos subsistemas e componentes altamente elaborados, novos conhecimentos e múltiplos *loops* de realimentação tanto no projeto quanto na produção (por exemplo, uma de nova geração aeronaves). Na outra extremidade do espectro, existem produtos menos complexos, onde os limites de incerteza são mais bem compreendidos, arquiteturas e componentes são relativamente bem estabelecidas, reduzindo o risco inerente à produção de cada item (por exemplo, um novo modelo de simulador de voo). No meio há itens "altamente complexos" e "moderadamente complexos". Em todos os casos, porém, os "produtos complexos" podem ser distinguidos de produtos mais simples, ou até mesmo complicados, onde as arquiteturas são relativamente simples, componentes são relativamente poucos em número (e normalmente padronizados), o grau de novo conhecimento requerido para cada produto é bastante limitado e as tarefas de produção podem ser codificada, colocadas em uma rotina, e automatizadas para produzir processos eficientes e redução de custos baseada em volume (por exemplo, uma bicicleta ou torradeira podem ser descritas como de produtos "simples", enquanto que um veículo passageiro poderia ser descrito como "complicado", mas não complexo tal como aqui definido). O progresso técnico, combinado com as novas demandas industriais tem maior abrangência de escopo funcional, complexidade, penetração, desempenho de sistemas e produtos complexos (por exemplo, as redes de informação de negócios, pacotes de software customizados, e super-servidores de internet). A natureza de sistemas e

produtos complexos pode levar a tarefas de complexidade extrema, as quais, por sua vez, demandam formas particulares de gestão e de organização industrial.

## 2.4 Classificação da complexidade de projetos na NASA

Já como forma de diferenciar a abordagem nas revisões técnicas de ciclo de vida de seus programas, a NASA (2007) classifica seus diferentes tipos de programas como:

- Programas de único projeto (por exemplo: Programa do Telescópio Espacial James Webb) tendem a ter um longo período de desenvolvimento e /ou de operação. Representam um grande investimento de recursos e recebem contribuições de várias organizações ou agências.
- Programas desacoplados (por exemplo: *Programa Discovery, Explorer*) são implementados sob um tema científico amplo e /ou sob o conceito de implementação de programa comum, como por exemplo, do fornecimento de frequentes oportunidades de voo para o projetos a custo limitado selecionados por Anúncios de Oportunidades (AOs) ou de anúncios de pesquisas da NASA. Cada projeto particular é independente dos demais projetos dentro do programa.
- Programas de baixo acoplamento (por exemplo: *Mars Exploration Program*) endereçam a objetivos científicos ou de exploração específicos com a realização de voos de múltiplos projetos espaciais dos mais variados âmbitos. Embora cada projeto possua um conjunto de objetivos atribuídos para missão, sinergias arquitetônicas e tecnológicas e estratégias que beneficiem o programa como um todo são exploradas durante o processo de formulação. Por exemplo, todas as sondas orbitais concebidas para orbitar Marte por mais de um ano são obrigadas a ter um sistema de comunicação que dê suporte as sondas em operação e a futuras sondas no planeta.
- Programas fortemente acoplados (por exemplo: Programa *Constellation*) tem vários projetos que executam partes de uma missão ou missões. Nenhum projeto é unicamente capaz de implementar uma missão completa. Naturalmente, vários centros da NASA contribuem para o programa. Projetos individuais podem ser geridos pelos diferentes centros. O programa pode também incluir outra agência ou também contribuições de parceiros internacionais.

A “complexidade” é ordenada de forma crescente e sequencial partindo de programas de único projeto, programas desacoplados, programas de baixo acoplamento, finalizando em programas fortemente acoplados.

## 3 Modelo NTPC (“abordagem diamante”)

Shenhar e Dvir (2007) partiram da Teoria da Contingência da Inovação de modo a entender os meios pelos quais as organizações poderiam classificar seus projetos. Propuseram posteriormente a classificação dos projetos em quatro níveis de incerteza tecnológica, variando de baixa (*low-tech*) a super alta (*super high-tech*), e três níveis de complexidade dos sistemas (Montagem, Sistemas e Estrutura), dentro de uma hierarquia de sistemas e subsistemas (SHENHAR & DVIR, 1996). Posteriormente, os autores evoluíram para o modelo de classificação que denominaram de diamante (*Practical NCTP “Diamond” Model*), composto de quatro dimensões: novidade (*Novelty - N*), tecnologia (*Technology - T*), ritmo (*Pace - P*), e complexidade (*Complexity - C*), conforme ilustra a figura 1. Cada dimensão inclui três a quatro níveis, ao longo de um espectro no qual se pode situar o projeto.

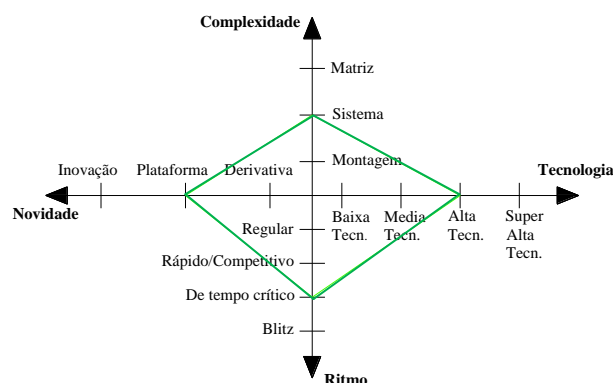


Figura 1. Modelo NTPC (modelo diamante)

O objetivo do modelo NPTC é o de auxiliar os gestores na tomada de decisão quanto ao estilo de gestão a ser adotado para cada projeto e como eles devam ser conduzidos, em termos de estrutura, alocação de recursos, avaliação de riscos, ferramentas e mensuração de resultados (SHENHAR & DVIR, 2007). A combinação das categorias em cada dimensão forma a base para a definição dos estilos de gestão e liderança a serem aplicadas ao

projeto, define graficamente uma figura chamada pelos autores de “Diamante”, onde cada um dos vértices está representado por um nível de cada dimensão: inovação, tecnologia, complexidade e ritmo. O modelo NTPC (SHENHAR & DVIR, 2004) é um diagrama estruturado de cuja aplicação os gestores podem se beneficiar na tomada de decisões sobre projetos e sobre como eles devem ser executados. Essas decisões podem envolver a seleção mais assertiva de projetos e de gestores, da alocação de recursos, do planejamento, da avaliação do risco selecionando o estilo gestão de projetos, a seleção de estrutura do projeto, a construção de processos e a escolha das ferramentas (SHENHAR & DVIR, 2007).

### 3.1 Exemplo de aplicação do modelo NTPC no gerenciamento da NASA

Este exemplo de aplicação do modelo NTPC tem como motivador o trabalho desenvolvido por Shenhar e Dvir para desenvolver uma melhor compreensão da gestão de projetos de sistemas estratégicos na NASA, e em particular, do que faz desses projetos bem sucedidos ou únicos. Nele foram confrontados projetos da NASA com vários objetivos da missão.

Os projetos avaliados foram:

- a) *Pathfinder (Mars Exploration Program/ Pre-Discovery Program)*: Na época um dos mais complexos projetos de exploração planetária na história da ciência espacial, foi originalmente concebido como um demonstrador tecnológico de como se poderia entregar um *lander* instrumentado e um *rover* abrangente livre robótico para a superfície de Marte. O *Pathfinder* não só realizou seu objetivo, mas também retornou uma quantidade de dados científicos sem precedentes, ocorrendo também uma extensão da vida útil preliminar do projeto.
- b) *Lunar Prospector (Discovery Program)*. Como projeto, o Lunar Prospector foi projetado, testado e desenvolvido como um satélite para órbita lunar voltado ao mapeamento da composição da superfície lunar e a sondagem de possíveis depósitos de gelo polar, medindo os campos magnéticos e de gravidade, e estudando degaseamento lunar. Foi uma missão de sucesso.
- c) *CONTOUR (Comet Nucleus Tour)* faz parte do NASA Discovery Program (programa para realização de uma série de satélites para exploração do sistema solar). O satélite foi projetado para uma missão flexível e de baixo custo voltada ao estudo da natureza e da diversidade dos núcleos de cometas devendo efetuar um sobrevoo rasante sobre os cometas Encke e Schwassmann-Wachmann-3 (SW3), com a possibilidade de que a missão fosse estendida para encontro do cometa d'Arrest. A missão não obteve sucesso.
- d) *Mars Climate Orbiter (Mars Surveyor Program)*. Projetado para estudar Marte a partir de órbita e para servir como relay de comunicações à estação terrena Polar Mars Lander e para sondas *Deep Space*, o *Mars Climate Orbiter* não foi bem sucedido devido a um erro de navegação causado por uma falha na tradução de unidades inglesas para métricas. A nave se queimou na atmosfera de Marte.

Segundo Sauser *et alli.* (2005), “existe uma dificuldade fundamental com os programas da NASA ao tentar definir suas dimensões de novidade, tecnologia, complexidade e ritmo no modelo NTPC. O simples fato que um projeto tenta explorar o universo ou o lançamento para o espaço, pode definir o projeto como de alta tecnologia; o nível de risco e integração associada com tais missões definem sua complexidade não menos do que a de sistema; e os desafios tecnológicos e requisitos da exploração espacial pode torná-los um avanço”.

A Figura 2 mostra como os projetos foram gerenciados com base no Modelo NCTP. Os projetos de sucesso não apenas aplicaram a tipologia correta de projeto, mas também as corretas abordagens para aquela tipologia. Os projetos que falharam mostraram diferenças em sua abordagem para a tipologia exigida. Conectando a classificação NCTP com uma linha reta para formar um diamante, dá uma representação do nível de risco associado ao projeto. Quanto maior for a área do diamante, maior o grau de risco. A figura também representa como cada um dos projetos diferem em seu nível de risco e como os projetos foram abordados com um nível menor de risco. As linhas contínuas representam a classificação correta do projeto. As linhas tracejadas representam a forma como o projeto foi gerenciado. Enquanto não existe uma relação linear entre a área do diamante para risco de projetos corretos e incorretos, a área representa uma diferença no grau de risco.

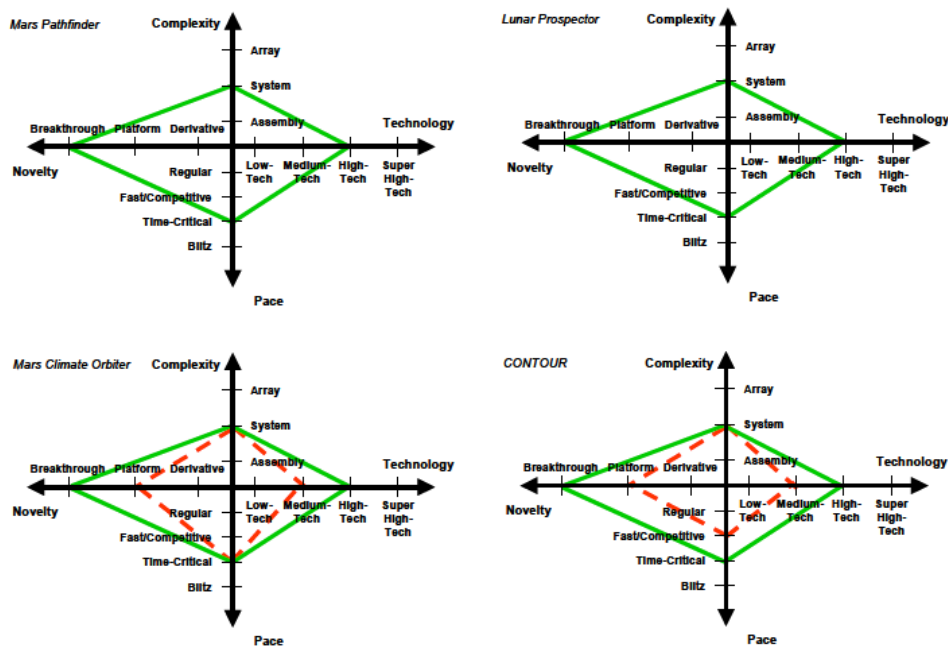


Figura 2. Análise de gestão de projetos da NASA pelo modelo NTPC

Considerando a opinião esboçada por Shenhar e Dvir como “correta” para tratamento dos projetos e em se fazendo um comparativo entre projetos, é visível que pelo enquadramento efetuado no modelo NTPC, existe uma perda de poder de diferenciação comparativa, pois, todos os projetos possuem os mesmos graus em nas quatro dimensões do NTPC, e, por conseguinte, as mesmas áreas, embora estes projetos possuam diferentes complexidades e escalas.

#### 4 Aplicação dos modelos NTPC adaptativo e modificado no IAE para o foguete de sondagem VSB-30 e o veículo lançador de satélites VLS-1

No presente item se faz a aplicação da substituição de atribuição praticada à dimensão “complexidade” do modelo NTPC por uma escala crescente de graus de complexidade, subdividida em um maior número de graus, como forma de possibilitar uma melhor comparação “interna” entre diferentes medidas de um programa/produto, ou de comparações “externas” com relação a outros programas/produtos.

De modo a informar o leitor e de justificar as o posicionamento dos projetos dentro da escala de graus de complexidade, é disponibilizada na tabela 1 as características gerais do foguete de sondagem VSB-30 e do veículo lançador de satélites VLS-1, ambos os projetos desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Será realizada a análise NTPC convencional, com a dimensão “complexidade” inalterada, e para comparação uma análise NTPC, com substituição da complexidade de hierarquia para graus de complexidade adotando como elementos da escala, os mesmos sugeridos por Hobday (2000), ou seja, “pouco”, “moderadamente”, “complexo”, “altamente” e “extremamente” complexo. A tabela 2 nos apresenta uma visão geral da dimensão “complexidade” abordada por hierarquia de sistema e posteriormente pelos graus de complexidade de projeto com a devida justificativa para classificação.

A figura 3 dá uma representação graficamente do modelo NTPC para a situação convencional, com a dimensão “complexidade” inalterada, e para comparação uma análise NTPC, com substituição da complexidade de hierarquia para graus de complexidade adotando como elementos da escala para o VSB-30 e o VLS-1.

Observa-se que as áreas para o modelo NTPC sugerido por Shenhar e Dvir possuem o mesmo problema apontado na análise do exemplo da NASA, ou seja, mesmo grau de importância nas dimensões do NTPC e, como decorrência, um mesmo indicador refletido pela área do diamante.

Já para o modelo NTPC com o número de subdivisões ampliadas, houve um aumento de sensibilidade, melhor diferenciando os projetos.

Tabela 1. Características gerais de veículos nacionais

CARACTERÍSTICAS GERAIS			
VSB-30		Tipo de Veículo	Foguete de sondagem balístico monoestágio com “booster” guiado por rampa de lançamento.
		Dimensões (m)	$\phi_{\text{motor}} = 0,570$ $h = 7,427$ Plataforma: $\phi_o = 0,438 \times h_s = 3,334$
		Controle de atitude	Não possui. Para uma dada missão específica a plataforma poderá integrar um sistema de controle de atitude por gás frio.
		Propulsores / Propulsão	Motor: motor S30 / sólido. “Booster”: motor S31 / sólido
		Desempenho	400 kg / 250 km
		Observações	Missão Primária: Realização de experimentos científicos de alta atmosfera e de microgravidade. Sucesso/Número de veículos: 14/14.
VLS-1		Tipo de Veículo	Veículo Lançador de Satélites
		Nº de estágios	4
		Dimensões (m)	$\phi_o = 1,00$ $h = 19,4$ Coifa = $\phi 1,2 \times 3,25$ m
		Peso Bruto (kg)	49,6 ton
		Propulsores / Propulsão	1º estágio: propulsores S43 (4 unidades) /sólido 2º estágio: propulsor S43 (1 unidade) /sólido 3º estágio: propulsor S40 (1 unidades) /sólido 4º estágio: propulsor S44 (1 unidade) /sólido
		Controle de atitude	Pilotado até o 3º estágio com manobras de basculamento por sistema secundário líquido e estabilização por <i>spin</i> do 4º estágio.
		Desempenho	200 kg com inclinação de 5º / 380 km 200 kg com inclinação de 90º / 250 km
		Operações	Missão Primária: LEO. Sucesso/Número de veículos: 0/3

OBS:  $\phi_o$  = diâmetro externo da carga-útil;  $\phi_1$  = diâmetro externo da coifa;  $h_s$  = comprimento da plataforma;  $h$  = comprimento total do foguete.

Tabela 2. NTPC / Complexidade – Hierarquia de sistema vs. Graus de complexidade

Complexidade	Novidade	Complexidade	Tecnologia	Ritmo	Área
<b>Hierarquia de sistema</b>					
• VSB-30 (i)	<b>Plataforma</b> Geração de novo produto construído com o sucesso e a tecnologia de missões passadas.	<b>Sistema</b> Interação de subsistemas, equipamentos e experimentos científicos.	<b>Média tecnologia</b> Tecnologia existente. Desenvolvimento limitado de nova tecnologia.	<b>Rápido / Competitivo</b> Busca-se a finalização do projeto em tempo oportuno.	223
• VLS-1 (ii)	<b>Plataforma</b> Geração de novo produto construído com o sucesso e a tecnologia de missões passadas.	<b>Sistema</b> Alta complexidade de interação de subsistemas e equipamentos.	<b>Média tecnologia</b> Tecnologia existente. Desenvolvimento limitado de nova tecnologia.	<b>Rápido / Competitivo</b> Busca-se a finalização do projeto em tempo oportuno.	223
<b>Graus de complexidade</b>					
• VSB-30 (iii)	<b>Plataforma</b> Geração de novo produto construído com o sucesso e a tecnologia de missões passadas.	<b>Pouco complexo</b> Interação de subsistemas, equipamentos e experimentos científicos de pouco nível de interface com o veículo.	<b>Média tecnologia</b> Tecnologia existente. Desenvolvimento limitado de nova tecnologia.	<b>Rápido / Competitivo</b> Busca-se a finalização do projeto em tempo oportuno.	140
• VLS-1 (iv)	<b>Plataforma</b> Geração de novo produto construído com o sucesso e a tecnologia de missões passadas.	<b>Altamente complexo</b> Alta complexidade de interação de subsistemas e equipamentos.	<b>Média tecnologia</b> Tecnologia existente. Desenvolvimento limitado de nova tecnologia.	<b>Rápido / Competitivo</b> Busca-se a finalização do projeto em tempo oportuno.	255

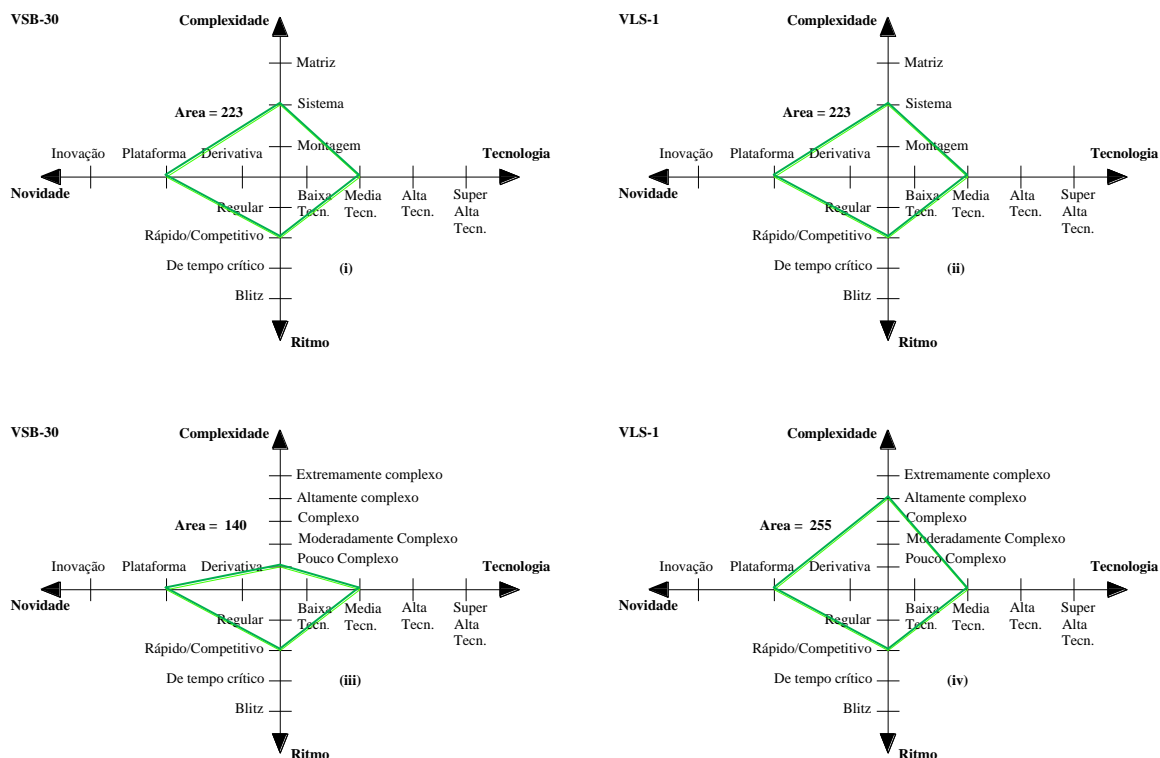


Figura 3. Modelos NTPC adaptativo e modificado para VSB-30 e VLS-1

## 5 Conclusão

Conceituada a “complexidade” na gestão de projetos, este artigo abordou a diversidade da natureza dos elementos utilizados em sua caracterização e propôs a ampliação do poder de comparação do modelo NTPC (“abordagem diamante”) utilizando um maior número de subdivisões para as unidades de sua escala de medidas ordinal.

Reproduziu os resultados da aplicação do modelo NTPC na identificação de diferenças de programas espaciais na NASA efetuado por Sauser *et alli.* (2005) mostrando a perda de sensibilidade no poder de comparabilidade entre projetos ao se efetuar um enquadramento conceitual igualitário destes projetos por uma escala de medidas ordinal não muito diferenciada.

Elaborou uma análise comparativa utilizando o modelo NTPC para a verificação das contingências de dois projetos aeroespaciais de veículos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) - o foguete de sondagem VSB-30 e o veículo lançador de satélites VLS – comparando o modelo NTPC com escala de “complexidade” por hierarquia de sistemas e subsistemas subdividida em 3 graus (montagem, sistema e matriz) junto a uma escala de graus de complexidade possuindo suas subdivisões uma expansão para 5 graus (“pouco complexo”, “moderadamente complexo”, “complexo”, “altamente complexo”, “extremamente complexo”).

Resultou esta metodologia tanto na melhor comparação “interna” entre diferentes medidas de um programa/projeto, quanto em comparações “externas” com relação a outros programas/projetos, indicando que o refinamento do modelo NTPC fortalece o poder de comparabilidade entre projetos.

## 6 Referências

- Bar-Yam, Y., “Dynamics of complex systems”, 1st edition, ISBN 0-201-55748-7, Addison Wesley Longman, Inc, United States of America 1997.
- Brunson, S., Prencipe, A., Pavitt, K., “Knowledge Specialization, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm: Why Do Firms Know More Than They Make?”, *Administrative Science Quarterly*. v. 46, n. 4. pp. 597-621, 2001.
- Cicmil, S. et al., “Rethinking Project Management: Researching the actuality of projects”, *International Journal of Project Management*, v. 24, pp. 675-686. Elsevier. Netherland. 2006.

- Cicmil, S., Marshall, D., “Insights into collaboration at project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms”. *Build Res Inform*; 336:523–35, 2005.
- Chia R., “Essai: time, duration, and simultaneity: rethinking process and change in organizational analysis”, *Org Stud*, 23(6), pp. 863–8, 2002.
- Chia R., “From modern to postmodern organisational analysis”, *Org Stud*. 16(4), pp.504–79, 1995.
- Clark, K. B.; Fujimoto, T., “Product development performance”, Boston: Harvard Business School, 1991.
- Clarke, L., Perrow, C., “Prosaic organizational failure”, *American Behavioral Scientist*. v. 39, n. 8, pp. 1040-1056, 1996.
- Cleland, D. I.; King, W. R., “Project management handbook”, New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.
- Cleland, D. I.; King, W. R., “Systems analysis and project management”, New York: McGraw-Hill, 1967.
- Drejer, A., “Frameworks for the Management of Technology: Towards a Contingent Approach”, *Technology Analysis & Strategic Management*. v. 8(1), pp. 9-20, 1996.
- Guimarães, P.C.V., Alves, M.A. “Prometeu Revisitado: Acidentes e a Teoria Organizacional”, XXIV ENANPAD, Rio de Janeiro, 2010.
- Hobday, M., “The project-based organizations: an ideal form for managing complex products and systems?”, *Research Policy*. v. 29, pp. 871-893, 2000.
- Houais, A., “Grande Dicionário Houais da Língua Portuguesa”, Versão eletrônica. Site: <http://houaiss.uol.com.br/gramatica.jhtm>. Último acesso em 29 de novembro de 2012.
- Kerzner, H., “Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling”, 8. ed., Hoboken: Wiley Publishing, 891 p., 2003.
- Maximiano, A. C. A., “Administração de projetos: como transformar idéias em resultados”. São Paulo: Atlas, 1997.
- NASA. “Systems Engineering Handbook”, NASA/SP-2007-6105 Rev1. National Aeronautics and Space Administration. NASA Headquarters. Washington, D.C., 2007.
- Perrow, C., “The limits of safety: the enhancement of a theory of accidents”, *Journal of Contingencies and Crisis*. v. 2, n. 4, p.212-220, 1994.
- Perrow, C., “Normal accidents: living with high-risk technologies”, New Jersey: Princeton University Press, 1999 [1984].
- Perrow, C., “A personal note on normal accidents”, *Organization Environment*. v. 17, n. 1, p. 9-14, 2004.
- Rabechini JR, R., De Carvalho M. M., “Gestão de projetos inovadores em uma perspectiva contingencial: Análise teórico-conceitual e proposição de um modelo”, *RAI - Revista de Administração e Inovação*. São Paulo. v. 6, n. 3, p. 63-78, set./dez. 2009.
- Sagan, S., “Problem of redundancy problem: why more nuclear security forces may produce less nuclear security”, *Risk Analysis*, v. 24, n. 4, p. 935-946, 2004.
- Sausser, B. J.; Shenhar, A. J. & Hoffman E.J., “Identifying Differences in Space Programs”, *Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries*. PICMET. Portland State University. Dept. of Engineering and Technology Management. pp. 392-402, 2005.
- Simon, H. A., “The sciences of the artificial”, 3<sup>rd</sup> edition, MIT Press, USA, 1996.
- Shenhar, A. J., Dvir D., “Reinventando Gerenciamento de Projetos. A abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos”, M. Books do Brasil Editora Ltda. ISBN: 978-1-59139-800-4. São Paulo. Brasil. 2010.
- Shenhar, A. J., Dvir D., “How Projects Differ, and What to Do About It”, *The Wiley Guide to Managing Projects*. New York: J. Wiley & Sons: Hoboken, pp. 1265-1286, 2004.
- Shenhar, A. J., “One Size Does Not Fit All Projects: Exploring Classical Contingency Domains”, *Management Science*. v. 47(3), pp. 394-414, 2001.
- Stacey R., “Strategic management and organizational design – the challenge of complexity”, 4th ed., Harlow: FT Prentice Hall; 2003.
- Stacey R., “Complex responsive processes in organisations: learning and knowledge creation”, London: Routledge; 2001.
- Stacey R., “Strategic management and organisational dynamics – the challenge of complexity”, 3rd ed., Harlow: FT-Prentice Hall, Pearson; 2000.