

A Engenharia de Resiliência e o Sistema de Controle de Tráfego Aéreo

Cleyton Vieira de Vargas (UFRGS) cleyton@producao.ufrgs.br
Lia Buarque de Macedo Guimarães (UFRGS) lia@producao.ufrgs.br

Resumo

Este artigo apresenta as bases de um estudo no sistema de controle de tráfego aéreo sob a abordagem da engenharia de sistemas cognitivos, mais especificamente, da engenharia de resiliência. A proposta é avaliar o sistema humano/técnico/trabalho para entender como os controladores aprendem, adaptam-se às situações e criam dispositivos de auxílio para contornar as variações do sistema e manter a segurança dos vôos. Destaca-se a importância da análise de fatores cognitivos (conhecimento, estratégia, dinâmica atencional) como forma de gerar conhecimento sobre a atividade do controlador de tráfego aéreo. Para o desenvolvimento de uma prática da engenharia de resiliência, propõe-se que, primeiramente, seja feita a análise dos fatores cognitivos do sistema operacional de controle de tráfego aéreo para, posteriormente, modelar e prever os efeitos das variabilidades a que o sistema está exposto, alinhando o gerenciamento das decisões com base nos pressupostos da engenharia de resiliência.

Palavras chave: controle de tráfego aéreo, engenharia de resiliência, fatores cognitivos.

1. Introdução

No Brasil, o aumento do tráfego aéreo tem aumentado a cada ano, fazendo com que, em alguns pontos do território nacional, haja excesso de tráfego de aeronaves, com conseqüente congestionamento de aeroportos e aerovias. Devido a isso, a atividade de controlador de tráfego aéreo tem demandado mais atenção e aplicação do conhecimento adquirido sobre as condições de trabalho com a utilização de diferentes tecnologias (AIRSAFETYGROUP, 2003).

Os controladores de tráfego aéreo estão sujeitos à situação momentânea do tráfego aéreo sendo que, de acordo com a variação do tráfego, aumenta a necessidade de “resolução” rápida de “conflitos”. A variação do fluxo de aeronaves em um mesmo espaço aéreo faz com que o controlador tenha de trabalhar com uma aproximação maior das aeronaves e, em alguns casos, tendo de lidar, ao mesmo tempo, com uma quantidade superior à esperada de aeronaves (EYFERTH *et al.*, 2003).

Diferentes sistemas (humanos e tecnológicos) e sub-sistemas estão atuando conjuntamente (combinação de humanos e tecnologias) durante o controle de tráfego aéreo. Tal controle compreende, no mínimo, a sala de controle, o espaço aéreo e as aeronaves, e envolve a equipe de controladores, que têm que tomar várias decisões e ações, com base em dados dos equipamentos e análise das informações. Diferentes situações, muitas vezes complexas, e em sua maioria dinâmicas, exigem esforço cognitivo e habilidade do controlador para mudar, rapidamente, seu comportamento, a fim de se ajustar a cada situação. Esta diversidade de acontecimentos, de diferentes cenários e, principalmente, a complexidade e dinamismo do sistema humano/técnico/trabalho característico do controle de tráfego aéreo, entre outras atividades, é o foco da Engenharia de Sistemas Cognitivos (ESC). Ela busca uma visão de sistema humano-tecnologia atuando de forma indissociável, como parceiros de igual importância em situações reais de trabalho (HOLLNAGEL e WOODS, 2005) que, como é

característico destes sistemas, estão sempre mudando. Deve-se deixar clara a diferença entre o conceito de Engenharia de Sistemas Cognitivos e a Ergonomia Cognitiva clássica. Muitas vezes, esta última é entendida como o estudo das atividades que envolvem processamento de informação de um indivíduo. No entanto, a atividade cognitiva não pode ser vista em separado, como um pensamento individual. Seja em um cockpit de uma aeronave, em uma sala de cirurgia de um hospital, em um centro de controle de tráfego aéreo, ou numa sala de controle de uma refinaria de petróleo, as atividades envolvem um grupo de profissionais, em um sistema organizacional, e em um contexto institucional no qual, algumas vezes, acabam por moldar e/ou restringir as atividades, por exemplo, promovendo punições ou recompensas, e definindo metas que nem sempre são alcançadas (WOODS *et al.*, 1994). Portanto, uma atividade cognitiva não pode ser vista uma atividade de um único indivíduo (como é vista em alguns estudos em ergonomia cognitiva tradicional), pois ela é mais complexa, já que representa uma atividade em que os indivíduos/equipamentos/trabalho interagem entre si e, em geral, está em constante transição e evolução, com novas demandas, novos constrangimentos e novas tecnologias. A incorporação de novas tecnologias de ponta para minimizar incertezas e falhas que geralmente advêm de sistemas complexos, acabam por gerar outros problemas, pois mudam a relação humano/tecnologia/trabalho. Além do mais, nem sempre estas tecnologias são usadas como o projetista concebeu, pois são moldadas pelos usuários para melhor atender às necessidades do trabalho real.

Sob esta ótica, com o foco central na segurança e, portanto, com o intuito de tornar um sistema mais resiliente, a engenharia de resiliência busca não só abordar o que deveria ter sido feito e explicar o que aconteceu, quando do acontecimento de uma falha (HOLLNAGEL *et al.*, 2006) mas, principalmente, aprender com as quase falhas para entender as variabilidades e os limites do sistema e, assim, prever e preparar para uma ação frente as possíveis falhas. Hollnagel *et al.* (2006) conceituam a engenharia de resiliência como um modelo na gestão de segurança focada em como ajudar as pessoas a fazer frente à complexidade dos sistemas. A fonte da resiliência está no entendimento de como as pessoas têm sucesso quando ameaçam falhar. Entender como cada trabalhador executa sua atividade mostra como ele está lutando para antecipar uma situação que pode levar a uma falha. O importante é entender como ele cria e sustenta uma estratégia de percepção de falha tornando, assim, o sistema mais resiliente (HOLLNAGEL *et al.*, 2006). O sucesso de uma organização (grupos e indivíduos) resiliente reside no fato de que ela *reconhece*, adapta e absorve as variações, mudanças, distúrbios, rupturas e surpresas que são rupturas que acontecem além dos limites de distúrbios originalmente concebidos para o sistema (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

Nessa perspectiva, esse artigo tem o objetivo de discutir a aplicação dos conceitos da Engenharia de Sistemas Cognitivos e, em particular, da Engenharia de Resiliência, no ambiente de controle de tráfego aéreo de Porto Alegre.

2 O Controle do Tráfego Aéreo

Histórico do Controle do Tráfego Aéreo no Brasil

O controle de tráfego aéreo é um serviço prestado pelo Ministério da Aeronáutica do Brasil, com a finalidade de acelerar e manter ordenado e seguro o fluxo de tráfego aéreo (AIRSAFETYGROUP, 2003). O controle e defesa do espaço aéreo nacional estão divididos em seis grandes regiões de informação de voo sob responsabilidade do Ministério da Aeronáutica.

O Ministério da Aeronáutica foi criado em 1941 e, a partir daí, as estações particulares de apoio de navegação aérea, que até o momento existiam, foram absorvidas pelo Ministério da Aeronáutica. Os funcionários dessas estações particulares que davam o suporte para a

navegação aérea foram enviados aos Estados Unidos da América para estudo do controle de tráfego aéreo. No retorno, fundaram o centro de controle de área (ACC) no Rio de Janeiro, no Aeroporto Santos Dumont. Os centros de controle de área acompanhavam as aeronaves nas rotas até receberem as mensagens de pouso (AIRSAFETYGROUP, 2003).

O espaço aéreo nacional foi organizado e administrado pelo Ministério da Aeronáutica através da Diretoria de Rotas Aéreas que deu origem a Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo (DEPV). No início, o espaço aéreo brasileiro foi dividido em cinco áreas de controle que eram responsáveis por acompanhar as aeronaves nas rotas até receberem as mensagens de pouso. A partir dos anos cinquenta, foram criados mais quatro centros de controle e os mesmos passaram a usar siglas internacionais preconizadas pela ICAO (International Civil Aviation Organization). Nos anos setenta, o primeiro radar de vigilância foi instalado sendo requerido dos “aeronavegantes” “manobras de identificação” para que o controlador pudesse identificar os alvos móveis na sua tela. Em 1969, deu-se início à idealização de um sistema de controle de área com um “programa de telecomunicações homônimo” com objetivo de ajuste às condições brasileiras tornando o sistema nos locais dotado de órgãos de controle mais eficiente e seguro. Posteriormente, houve a instalação de um sistema de controle de tráfego aéreo e de defesa aérea automatizados, sendo incorporadas técnicas digitais possibilitando abandonar os métodos de identificação dos alvos móveis, uma vez que o computador mostrava em sua tela radar, etiquetas de identificação com caracteres alfanuméricos, além da trajetória futura da aeronave e das três posições anteriores (AIRSAFETYGROUP, 2003).

3. Os Conceitos da Engenharia de Resiliência Aplicados ao Controle de Tráfego Aéreo

Uma questão importante em uma organização resiliente é que dados de falhas/incidentes, sejam de acidentes ou quase-acidentes, não sejam simplesmente tabulados, como geralmente ocorre na visão tradicional da engenharia de segurança: a organização resiliente trata a segurança como o ponto crucial, não como algo que deva ser contado. A medida da resiliência é feita pela habilidade de prever, antecipar, uma falha (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

Hollnagel *et al.* (2006) citam os passos iniciais para desenvolver a prática da engenharia de resiliência:

- Analisar, medir e monitorar a resiliência da organização em seu próprio ambiente operacional;
- Modelar e prever, a curto e longo prazos, os efeitos das mudanças e alinhar o gerenciamento das decisões na resiliência e conseqüentemente no risco.

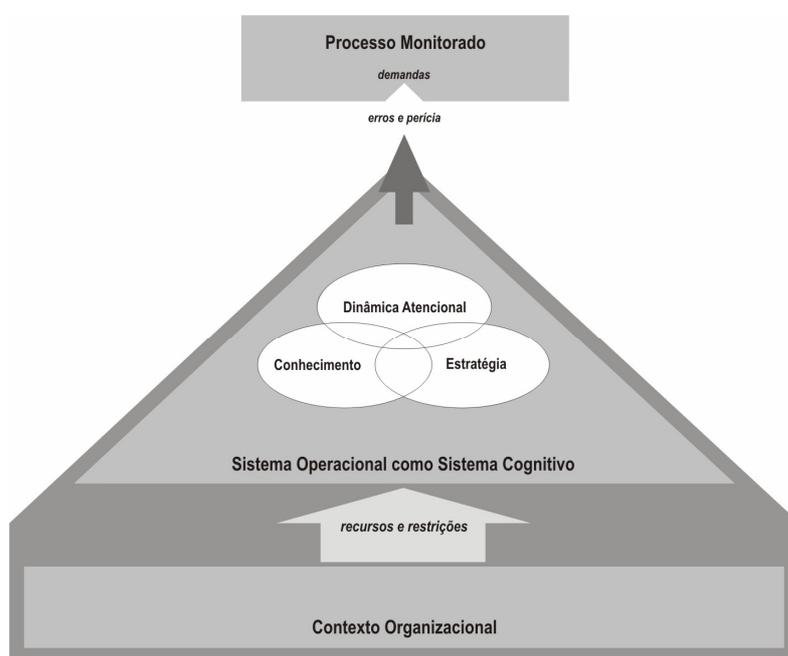
Nota-se, no entanto, que o diferencial de uma abordagem resiliente é que todas as medições e análises devem contemplar o sucesso das diferentes abordagens de atuação e das diferentes situações vividas pelos praticantes. Inicialmente, começa-se com o estudo de como as pessoas lidam com a complexidade do ambiente de trabalho. A análise dos sucessos (ou não ocorrência de incidentes), além dos incidentes e perdas, revelam as fontes de resiliência que permitem que o sistema produza sucesso, quando ameaça falhar. Isto permite indicar uma espécie de nível de resiliência do sistema (HOLLNAGEL *et al.*, 2006). Cada indicador permitirá desenvolver, na organização, mecanismos para criar a previsão, reconhecimento, antecipação e defesa contra a falha que surge com a mudança na organização, ou nos diferentes sistemas que a compõem, e na tecnologia empregada (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

3.1 Proposta de Análise do Sistema Operacional de Controle de Tráfego Aéreo

Tendo em vista que a Engenharia de Sistemas Cognitivos propõe estudar as relações entre humanos-tecnologia-trabalho e as pressões que ocorrem dentro e entre os elementos do sistema, o estudo do trabalho e do nível de resiliência do controle de tráfego aéreo no

Destacamento de Controle do Espaço Aéreo em Porto Alegre – DTCEA-PA, mais especificamente no controle de aproximação – APP-PA está sendo desenvolvido com base em três fontes: *i)* Análise do modelo mental de operadores, para entender como os operadores atuam sob diversas situações; *ii)* Análise do trabalho, para entender os constrangimentos e exigências das tarefas; e *iii)* Análise dos incidentes, para entender os limites e desvios que forçam o trabalho para área insegura, conforme descrito a seguir.

Basicamente, o estudo dar-se-á considerando os fatores que configuram e os constrangimentos que impactam (e geram desvios ativos e latentes) em um sistema complexo, conforme a figura 1. Para entender o trabalho, o sucesso e o insucesso (o erro) em situações reais, é necessário estudar os grupos de indivíduos inseridos no sistema que provem recursos e obrigações, ao invés de estudar a cognição do indivíduo isoladamente (WOODS *et al.*, 1994).



Fonte: (adaptado de Woods *et al.*, 1994)

Figura 1 – Características que configuram as relações e impactam um sistema complexo

3.1.1 Análise do Modelo Mental dos Controladores de Tráfego Aéreo

Os operadores de sistemas complexos, como é o caso do controle de tráfego aéreo, adquirem conhecimento e habilidade principalmente durante a prática em que vivenciam as demandas do sistema. Neste tempo, os operadores criam um modelo mental, representando o ambiente complexo das suas tarefas. O objetivo dessa representação é diagnosticar o presente estado do sistema para poder, posteriormente, antecipar os estados futuros e planejar a intervenção (NIESSEN *et al.*, 1999). Examinar o modelo mental de controladores de tráfego aéreo, assim como a percepção situacional pode levar a um entendimento de como esses operadores antevêm as mudanças dos diferentes sistemas envolvidos. Isto proporciona antecipar ações minimizando falhas. Os componentes principais (módulos) do modelo mental do controlador de tráfego aéreo são a seleção de dados, previsão e antecipação de múltiplas situações, resolução de conflitos e controle do sistema.

A análise cognitiva da atividade do operador permite analisar o modelo mental do controlador

de tráfego aéreo, a percepção situacional, e a seqüência do processamento da informação, desde a detecção, passando pelo diagnóstico, decisão, até chegar na execução da tarefa. Woods *et al.* (1994) consideram que esta análise contempla a avaliação das condições de conhecimento, dinâmica atencional, e estratégia que são as classes de fatores cognitivos que regem como as pessoas formam a intenção para a ação (figura 2).

Nos fatores do conhecimento, há implicações cognitivas quanto ao modelo mental que a pessoa tem sobre determinada atividade, calibração do conhecimento para realização da tarefa, conhecimento impreciso ou uma grande simplificação de uma situação que se apresente. Neste momento, há a presença de conflitos, como imperfeição, contradição, domínio incompleto do conhecimento, conflitos que podem levar a falha ou incerteza na execução da tarefa.

Fatores Cognitivos	Implicações Cognitivas	Conflitos Presentes
Conhecimento	Conhecimento impreciso, simplificação, calibração do conhecimento, modelo mental	Domínio incompleto do conhecimento, imperfeição, contraditoriedade
Dinâmica Atencional	Percepção situacional, fixação	Limite atencional demandada por múltiplas variáveis
Estratégia	Tomada de decisão, determinação do risco	Conflito de metas, regras que não se aplicam a todos os casos, questões organizacionais

Fonte: (adaptado de Woods *et al.*, 1994)

Figura 2: Fatores Cognitivos regem como as pessoas formam a intenção para a ação

No fator da dinâmica atencional, há implicações quanto à diminuição da percepção situacional, ou fixação em pontos específicos. A percepção situacional se caracteriza por uma variedade de atividades de processamento cognitivo que são críticas quanto ao dinamismo, ao evento dirigido, e na prática de atividades múltiplas (SARTER e WOODS, 1995). Endsley (1995) conceitua o termo como a percepção de elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão do significado deles, e a projeção das posições deles no futuro.

Nos fatores estratégicos, há implicações quanto às metas a serem atingidas e a decisão a ser tomada, assim como na determinação de riscos. Nesses casos, há a presença de conflitos de metas, de limite atencional devido a múltiplos atrativos, e regras que não se aplicam a todos os casos. Basicamente, lida com os dilemas da estratégia adotada para a resolução de um conflito qualquer.

Os dados de falhas e o mapeamento das condições de conhecimento, estratégia e dinâmica atencional do controlador de tráfego podem fornecer um diagnóstico da tarefa de controle de tráfego aéreo. No entanto, como as pessoas não são iguais e sua ação depende de como ela opera nos três níveis de fatores cognitivos, este estudo pretende analisar as diferenças (se houver) entre o comportamento do controlador de tráfego aéreo experiente e o do novato. Esta avaliação pode apontar para as diferenças de comportamento em função da experiência e pode facilitar, num futuro, a capacitação mais rápida do novato em experiente.

3.1.2. O Trabalho de Controle de Tráfego Aéreo

Conceitualmente, o controle de tráfego aéreo é um serviço prestado com a finalidade de “acelerar e manter ordenado e seguro o fluxo de tráfego aéreo” (AIRSAFETYGROUP, 2003). Ele passa pela autorização de um plano de vôo para a realização de um vôo controlado, designação do espaço aéreo compreendido pelas aerovias superiores, inferiores e zonas de tráfego de aeródromo. No plano de vôo vai a identificação da aeronave; regras de vôo e tipos de vôo; números, tipo (s) de aeronave (s); equipamento, aeródromo de partida; hora estimada de calços fora; velocidade (s) de cruzeiro; nível (is) de cruzeiro; rota que será seguida; aeródromo de destino e duração total prevista; aeródromo (s) de alternativa; autonomia; número total de pessoas a bordo; equipamento de emergência e de sobrevivência; e outros dados. Após essa autorização, a prestação do serviço de tráfego aéreo será fornecida por um APP (Controle de Aproximação) ou ACC (Centro de Controle de Área) e o serviço de aproximação por um APP ou TWR (Torre de Controle de Aeródromo). O serviço de controle de aeródromo será prestado por uma TWR. Somente um órgão de controle de tráfego aéreo tem jurisdição sobre um determinado espaço aéreo ficando a este a atribuição dos serviços de informação de vôo e de alerta para a aeronave (MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA, 1999).

O sistema de controle de tráfego pode ser basicamente caracterizado pelos controladores que são responsáveis pelo processamento de informações (do quadro geral da situação, das regras dos órgãos de controle, das aeronaves, da interface controlador-tecnologia) e dispositivos de controle (que pode ser pelo radar e por consoles de auxílio à navegação). O trabalho do controlador de tráfego aéreo é gerir essas informações (do radar, da comunicação com piloto, a da equipe de controle, a de outras aeronaves simultaneamente) e guiar as aeronaves, de forma segura, já que erros podem acarretar em incidentes ou graves acidentes aeronáuticos.

Tendo em vista a característica do trabalho, os controladores de tráfego aéreo estão expostos a uma carga de trabalho físico provavelmente menor do que a carga de trabalho mental durante a prestação do serviço. Além de lidar com vários conceitos, como por exemplo, velocidade, altitude, aproximação, separação das aeronaves no espaço aéreo (manutenção de uma distância mínima segura que separa duas aeronaves em vôo), os controladores de tráfego aéreo têm de manter a comunicação com os pilotos de várias aeronaves e com a equipe de controle. Nesta comunicação, eles devem observar a fraseologia usada para comunicação (a inadequação da fraseologia, da emissão, clareza ou cotejamento das autorizações pode conduzir ao erro) e planejar o controle de tráfego em função dos tráfegos existentes (AIRSAFETYGROUP, 2003). O sistema de controle de tráfego aéreo está sujeito a grande variabilidade em função das condições do equipamento de controle e do espaço aéreo. Devido à variação das demandas no controle de tráfego aéreo, o controlador tem de lidar, em alguns momentos, com períodos de baixa ocupação e outros momentos com períodos de ocupação máxima. Isto acaba por acarretar em uma sobrecarga mental e por vezes física, podendo levar em alguns casos a incertezas ou até a falhas na execução da tarefa. Woods *et al.* (1994) destacam que tem se observado que pessoas adaptam suas tarefas continuamente para responder à variação da demanda: atividades cognitivas e físicas variam com períodos de baixa demanda, para períodos com ocupação máxima onde as exigências para execução da tarefa é mais crítica. Essas situações criam grandes restrições na atividade cognitiva que vão desde pressões, incertezas, até as falhas (WOODS *et al.*, 1994). Além disso, as situações próximas à faixa de limite de trabalho seguro não são raras, como por exemplo: uma quase-colisão de aeronaves (quando a condição de aproximação entre aeronaves, ou entre estas e obstáculos na superfície, que exijam mudanças bruscas e imediatas de atitudes de vôo ou de movimento); um risco de colisão (a apreensão quando a projeção da trajetória de uma aeronave indicar a necessidade de uma ação planejada e coordenada, sobre seus movimentos

ou atitudes de voo, que assegurem separações adequadas entre elas ou em relação a obstáculos na superfície); ou falhas das facilidades e serviços terrestres; ou mesmo uma dificuldade grave causada por falha na execução, ou não observância de procedimentos aplicáveis são irregularidades do dia-a-dia do controle do espaço aéreo.

No caso do controle de tráfego aéreo, a maior quantidade de falhas acontece nas seguintes situações (ISAAC e RUITENBERG, 1999):

- 70-74% de falhas ocorrem sob condições e complexidade de tráfego moderado;
- 45% de falhas acontecem durante os primeiros quinze minutos de um controlador na posição;
- 62% de falhas ocorrem quando controladores têm menos que seis anos de experiência.

Entender como acontece a falha é um dos primeiros entendimentos de como o sucesso é obtido e como as pessoas aprendem, adaptam-se e criam segurança em um ambiente cheio de brechas em seus mecanismos de defesa, de perigo, e múltiplas metas (COOK *et al.* apud HOLLNAGEL *et al.*, 2006). A falha, tanto individual quanto falha na performance em nível de sistema, representa uma inabilidade para lidar efetivamente com a complexidade (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

3.1.3 Análise dos Incidentes

Outro ponto importante para entender o trabalho realizado no âmbito de sistemas complexos e aumentar sua resiliência é buscar, dentro dos dados de análise de incidentes (acidentes e quase-acidentes), as falhas e, principalmente, as circunstâncias pelas quais os mesmos ocorreram. Reason (1990) destaca a combinação de fatores (alguns deles latentes) que em quantidade suficiente, num determinado tempo e espaço, parecem levar à ocorrência de falhas e acidentes. Isto vem ao encontro de uma abordagem chamada de gestão de desvios de desempenho que reconhece a possibilidade de causa dos acidentes como latentes ou manifestas (HOLLNAGEL, 2003). Porém, questões positivas podem ser levadas em consideração na abordagem de desvios e falhas. Uma primeira observação a ser feita é que usuários de um sistema, e o próprio sistema, podem ser capacitados e aprender acerca da natureza dos acidentes. Além disso, um desvio pode também ser visto com uma inovação. Nesse momento, um sistema resiliente é capaz de analisar as conseqüências de uma ação incomum e ver o que e como aconteceu (HOLLNAGEL, 2003).

Outra classe de fator que deve ser levada em consideração são os recursos e restrições impostas pelo contexto organizacional. A importância de fatores organizacionais na falha dos sistemas pode ser avaliada por o quanto que uma empresa investe em treinamento e prática. Também pressões organizacionais podem exacerbar conflitos entre metas e afetar o critério adotado pelos trabalhadores na escolha de meios para atingir as metas (WOODS *et al.*, 1994). Sistemas complexos são caracterizados, entre outros fatores, por múltiplos conflitos de metas, e a segurança deve ser constituída por processos resilientes proativos, muito mais que processos ativos de barreiras e defesas reativas. Portanto, no caso do controle de tráfego aéreo, o enfoque da engenharia de resiliência objetiva enfatizar para a organização sobre a importância de reduzir a pressão por resultados, para diminuir os riscos de incidentes. Um exemplo pode ser o fornecimento de informações necessárias para decidir sobre a interrupção, ou não, de um pouso de uma aeronave em um aeroporto que está sob uma condição meteorológica na qual aumenta o risco de um acidente aeronáutico (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

4. Considerações Finais

Este artigo apresentou as bases da Engenharia de Sistemas Cognitivos/de Resiliência que está sendo utilizada em um estudo do trabalho de controle de tráfego aéreo no Destacamento de Controle do Espaço Aéreo em Porto Alegre – DTCEA-PA, mais especificamente no controle de aproximação – APP-PA. O estudo com base na *i)* análise do modelo mental de operadores considerando os fatores cognitivos; e *ii)* análise dos incidentes pretende contribuir para a redução da carga de trabalho dos controladores e conseqüente aumento de segurança das operações.

A utilização dos preceitos da Engenharia de Sistemas Cognitivos e, em particular, da Engenharia de Resiliência mostra-se adequada ao trabalho de controle de tráfego aéreo tendo em vista o caráter dinâmico, de grande variabilidade do sistema humano/tecnologia. As situações a que os controladores estão expostos estão muitas vezes no limite da segurança, sendo que as causas de incidentes podem ser por fatores organizacionais (no caso de conflito de metas, por exemplo), por falha do projeto do equipamento (principalmente na interface humano-tecnologia) ou no processamento de informação para a tomada de decisão, o que não exclui a interdependência com as outras causas. Quando se investiga o modelo mental, a percepção situacional, o nível de conhecimento dos controladores e suas estratégias de tomada de decisão e ação, pode-se gerar conhecimento sobre o sistema de forma a minimizar os custos, principalmente humanos, envolvidos, e construir sistemas futuros mais robustos, inclusive com controladores melhor capacitados para lidar com a variabilidade e complexidade do sistema que, inevitavelmente, tornar-se-á cada vez mais complexo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Subdepartamento de Operações do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), ao Destacamento de Controle do Espaço Aéreo em Porto Alegre – DTCEA-PA, e aos controladores de tráfego aéreo do controle de aproximação – APP-PA pela permissão de realização e apoio que vem sendo prestado para a realização deste estudo.

Referências

- AIRSAFETYGROUP. **Segurança de Voo / Sistema e Estrutura: Histórico do Tráfego Aéreo no Brasil**, 2003. Disponível em: <[http:// www.airsafetygroup.com.br](http://www.airsafetygroup.com.br)> Acesso em: 5 mai. 2005.
- EYFERTH, Klaus; NIESSEN, Cornelia; SPAETH, Oliver. A Model of Air Traffic Controller's Conflict Detection and Conflict Resolution. **Aerospace Science and Technology**, Berlin, v 07, p. 409-416, 2003.
- ENDSLEY, Mica R. Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. **Human Factors**, v 37, p. 65-84, 1995.
- HOLLNAGEL, E. Modelos de acidentes e Análise de Acidentes. In: BRASIL, Ministério do Trabalho e do Emprego. Caminhos da análise de acidentes do trabalho. Organização: Ildeberto Muniz de Almeida. Brasília: MTE, SIT, 2003.
- HOLLNAGEL, Erik; WOODS, David D. **Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering**. Basingstoke: Taylor & Francis, 2005.
- HOLLNAGEL, Erik; WOODS, David D; LEVESON, Nancy. **Resilience Engineering: Concepts and Precepts**. Basingstoke: Taylor & Francis, 2006.
- ISSAC, Anne R.; RUITENBERG, Bert . **Air Traffic Control: Human Performance Factors**. Aldershot: Ashgate, 1999.
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. Ima 100-12: Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo, 1999.
- NIESSEN, Cornelia; EYFERTH, Klaus; BIERWARGEN, T. A Modelling Cognitive Processes of Experienced Air Traffic Controllers. **Ergonomics**, v 42, p. 1507-1520, 1999.
- REASON, J. Human Error. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

SARTER, N. B.; WOODS, D. D. How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. **Human Factor**. V. 37, p. 5-19, 1995.

WOODS, David D. et al. Behind Human Error: Cognitive Systems, Computers, and Hindsight. Columbus, Ohio: CSERIAC, 1994.