

## A ANÁLISE CONFIABILIDADE HUMANA: UMA REVISÃO COMENTADA DA LITERATURA

**Fernanda Patrícia Santos de Souza**

UFPE, Av. Acadêmico Helio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-530,  
[fpatriciasouza@hotmail.com](mailto:fpatriciasouza@hotmail.com)

**Paulo Renato Alves Firmino**

UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, CEP: 52171-900,  
[paulo.firmino@deinfo.ufrpe.br](mailto:paulo.firmino@deinfo.ufrpe.br)

**Enrique Lopez Droguett**

UFPE, Av. Acadêmico Helio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-530,  
[ealopez@ufpe.br](mailto:ealopez@ufpe.br)

### RESUMO

Este artigo apresenta os desdobramentos acerca da Análise de Confiabilidade Humana (ACH), sua importância e desenvolvimento desde os primeiros estudos até os tempos atuais, mostrando como ela tem atuado nas diferentes áreas de aplicação. Neste sentido, potencialidades, vantagens, desvantagens, similaridades e peculiaridades das diversas gerações da ACH serão apresentadas, estudando-se ainda o nível de aplicação de cada uma. O artigo também discute as razões pelas quais o número de publicações relacionadas à ACH, antes crescente, vem diminuindo nos últimos anos e, também, as consequências de uma eventual redução do seu uso. Alternativas para uma maior difusão e consolidação da ACH são, portanto, delineadas.

**Palavras-chave:** Análise da Confiabilidade Humana, fatores de desempenho humano, redes Bayesianas.

### ABSTRACT

This article presents the developments on the Human Reliability Analysis (HRA), its importance and development since the first studies to present times, showing how it has acted in different application areas. In this sense, capabilities, advantages, disadvantages, similarities and peculiarities of the various generations of the HRA will be presented, is still studying the level of implementation of each. The article also discusses the reasons why the number of publications related to HRA, before rising, has fallen in recent years and, also, the consequences of any reduction in their use. Alternatives for greater diffusion and consolidation of the HRA are therefore outlined.

**Keywords:** Human Reliability Analysis, factors human performance, Bayesian networks.

## 1. Introdução

Desde o século passado, época com grande desenvolvimento em todas as áreas de atividade, há preocupação em melhorar sistemas de produção. Neste contexto, destaca-se o desenvolvimento tecnológico, que proporcionou a melhoria em níveis de segurança e confiabilidade de sistemas, equipamentos, componentes e ferramentas. Por outro lado, não tão intensamente se trabalhou sobre uma parcela essencial a estes sistemas e que pode compromê-los: o elemento humano. O desempenho de operadores, auxiliares e gerentes foi parcialmente negligenciado quando comparado aos avanços sobre hardware e software. Apenas após a consolidação da análise da confiabilidade de equipamentos é que se iniciaram os estudos sobre o componente humano, como este pode cometer erros que levam às falhas dos sistemas mecânicos, e o que leva a tais erros (os fatores existentes no contexto e aqueles inerentes a cada pessoa).

Neste contexto, em busca de maior eficiência e confiabilidade das operações, fundamenta-se a análise de confiabilidade humana (ACH). A ACH tenta dimensionar o fato de que o ser humano possui características únicas que, mesmo com todo o aparato tecnológico presente, pode ainda cometer erros. Matematicamente, a confiabilidade humana é a probabilidade de que um conjunto de ações humanas seja executado com sucesso em um tempo estabelecido ou numa determinada oportunidade, considerando suas limitações e os fatores que influenciam no seu desempenho (Dougherty & Fragola, 2005). De maneira mais ampla, deseja-se com a ACH modelar o desempenho humano quando da realização de suas tarefas, diante das condições ambientais, operacionais e internas às pessoas e, também, as consequências das suas ações sobre o desempenho do sistema.

Ao que se sabe, há registros de estudo referentes à ACH desde a década de 70, com aderência de pesquisas muito discretas em relação à análise de confiabilidade como um todo. Neste sentido, têm-se como atores principais a avaliação do comportamento humano e sua cognição em diferentes situações, principalmente na área de engenharia, com um número muito maior de publicações, comparado a outras áreas como energia, ciências sociais, matemática, medicina, entre outras.

Existem técnicas de ACH que foram desenvolvidas principalmente para a indústria nuclear, mas que podem ser moldadas para diferentes contextos, a depender do problema que se queira avaliar. Estas técnicas, que são divididas em 1ª e 2ª geração da ACH, apresentam algumas deficiências. Tratam-se das primeiras tentativas para modelar o comportamento humano e suas interações com hardware e software de sistemas. De maneira a dirimir tais limitações, métodos da chamada 3ª geração têm sido propostos, permitindo maior realismo de modelagem, contudo requerendo um maior nível de competência dos analistas responsáveis pelos modelos e estratégias de comunicação, não apenas com operadores e gerentes, mas também, com a alta gerência das organizações e com o público em geral; nuances enumeradas no presente trabalho.

O desenvolvimento da ACH durante vários anos foi modesto, apresentado crescimento relativo discreto na área da engenharia da confiabilidade. Acredita-se que a redução nas publicações decorre da necessidade de ser desenvolvida uma metodologia mais eficiente e eficaz, não apenas em termos de modelagem, mas também em termos de aplicabilidade e acessibilidade em relação aos diversos interessados na ACH. Um modelo mais eficaz, capaz de dimensionar mais realisticamente as relações entre as variáveis relacionadas ao desempenho humano e seus efeitos, e compreensível emerge como alternativa necessária para uma real consolidação da ACH.

O presente trabalho pretende mostrar a evolução da ACH, desde seu início nos anos 70 até os dias atuais, dando-se destaque às metodologias para ACH características de cada das suas gerações, suas potencialidades, vantagens, desvantagens, similaridades e peculiaridades. Estudarse-á, ainda, o nível de aplicação de cada uma das principais metodologias para ACH. Será parametrizado também o crescimento da Análise de Confiabilidade (AC) e comparado a evolução desta com a da ACH. Neste sentido, serão discutidas as razões pelas quais o número de pesquisas

relacionado à AC é tão maior que as publicações referentes à ACH. O artigo sugere ainda alternativas para uma maior difusão e consolidação da ACH diante do contexto apresentado.

O artigo está organizado da seguinte maneira: primeiramente, na Seção 2 será apresentado o desenvolvimento da metodologia nas 3 gerações da ACH. Na Seção 3 serão apresentadas as aplicações da ACH ao longo da história e uma análise de seu uso comparado a AC. A Seção 4 apresenta uma discussão sobre os rumos da ACH, as deficiências que podem ser encontradas quando se utiliza a 3ª geração da ACH, a formalidade matemático-probabilística intrínseca a esta geração da ACH e o desenvolvimento de softwares que permitem o uso da 3ª geração da ACH.

## 2. Desenvolvimento metodológico da Análise da Confiabilidade Humana

Modelos variados de ACH foram desenvolvidos ao longo dos anos, com o objetivo de melhor descrever o desempenho humano, levando-se em consideração fatores internos e externos relacionados e, também, as consequências de suas ações. A seguir são apresentadas as metodologias para ACH, características de cada uma das suas gerações, suas potencialidades, vantagens, desvantagens, similaridades e peculiaridades.

### Técnicas de 1ª Geração

Muitas metodologias de ACH levam em consideração os fatores de desempenho através da especificação da probabilidade de erro humano como uma função de possíveis valores assumidos por estes fatores (Menezes & Drogue, 2005). Porém, é considerado que estes fatores não possuem relação de dependência (Hollnagel, 1998), devido ao uso de ferramentas como árvore de falhas e de eventos (Modarres, 1996) que apresentam grandes dificuldades para modelar as relações de dependência intrínsecas às ações humanas. Vergara (2005) considera os métodos baseados nas ferramentas citadas acima estáticos, pois a probabilidade do erro humano é definida durante a análise teórica e não considera o feedback dos erros humanos no controle das ações, nem nas respostas das interações com as máquinas, ferramentas e softwares. Estes modelos correspondem às primeiras gerações da ACH. A literatura apresenta como características mais marcantes para esta primeira etapa do desenvolvimento metodológico para ACH:

- A confiabilidade humana possui em algumas técnicas a mesma metodologia da confiabilidade convencional, referente a sistemas de máquinas, diferenciando-se somente em relação aos equipamentos, que são substituídos por seres humanos (Kim, 2001);
- Como é utilizada a mesma metodologia para confiabilidade convencional e para confiabilidade humana, e o desempenho dos equipamentos naquela são representados como sucesso ou falha, ações humanas nesta também são representados como uma probabilidade de sucesso ou falha;
- Cada etapa numa árvore de eventos é tratada com escolhas binárias, onde o nó ou representa falha ou sucesso. Diante disto, Hollnagel (1998) diz que uma árvore de eventos não pode representar um comportamento que não seja completamente adequado (perfeição) nem completamente incorreto. Esta é uma das limitações para se avaliar como os erros humanos são cometidos;
- As técnicas pertencentes a esta geração foram mais utilizadas por mais vezes com o envolvimento da Avaliação Probabilística do Risco (APR), que é um método de identificação e avaliação do risco inerente a sistemas de tecnologia complexa e que ainda contribui para melhorias na segurança e no desempenho, baseado em uma análise de custo - benefício (Stamatelatos, 2002). Por causa desta dependência, a ACH desta geração limita-se às ações humanas que pertencem à árvore de eventos da APR;

- Estas técnicas de 1ª geração falam de erros de omissão e comissão, como ações humanas executadas incorretamente. Porém, outros tipos de erros podem ser observados e estes não foram comentados na ACH desta geração. Há a necessidade de se obter maiores detalhes destes erros;
- Ações humanas de uma maneira ou de outra possuem valor cognitivo, e não há muitas informações, nas técnicas de 1ª geração, dos aspectos cognitivos das ações realizadas pelo homem (Kim, 2001). Assim, estas técnicas não podem ser entendidas e analisadas da melhor maneira, sem haver referência das características cognitivas humanas;
- É dada ênfase na quantificação das probabilidades dos erros humanos (PEHs) pertencentes à árvore de eventos da APR. Esta quantificação é feita a partir dos dados para cálculos das PEHs. Porém, para Kim (2001) alguns dados somente podem ser utilizados em contextos de trabalho onde as ações humanas são relativamente tarefas simples e em um ambiente de operação normal. Já em situações mais complexas estes podem ser inviáveis. Assim, muitas técnicas de ACH de 1ª geração utilizaram julgamentos de especialistas e simuladores, que podem apresentar problemas como falta de conformidade e consistência nos julgamentos, como também falta de veracidade e validação, além de inadequação da aproximação da situação verdadeira nos dados dos simuladores. Tudo isso induz à necessidade de abordagens mais elaboradas não tão comuns à época;
- Pode-se também dizer que há o tratamento indireto do contexto, pois não existe tratamento das relações existentes entre os fatores de desempenho.

Exemplos destas técnicas são: Accident Investigation and Analysis (AIPA), Confusion Matrix (CM), Operator Action Tree (OAT), Social-Technical Assessment of Human Reliability (STAHR), Technique for Human Error Rate Prediction (THERP), Expert Estimation (EE), Success Likelihood Index Method/Mult-Attribute Utility Decomposition (SLIM/MAUD) e Maintenance Personnel Performance Simulation (MAPPS). Para maiores detalhes sobre estas técnicas, recomenda-se Hollnagel (1998).

Pode-se dizer que as técnicas compreendidas na 1ª geração são muito difíceis para a modelagem do comportamento humano, apresentando os vários problemas expostos acima. Motivados por estas constatações, técnicas de 2ª geração foram propostas.

### **Técnicas de 2ª Geração**

As técnicas de segunda geração foram criadas para superar os problemas das técnicas da geração anterior. Menêzes & Drogue (2005) citam como características mais marcantes destas ferramentas:

- O modelo do operador - que considera as capacidades e limitações humanas, as quais influenciam no seu desempenho para a execução da tarefa - é mais significativo do que nas técnicas de 1ª geração;
- Foram introduzidos outros tipos de erros (como erros de intenções e erros cognitivos) além dos erros de omissão e comissão, já abordados na geração passada;
- Uma metodologia para tratar de contextos dinâmicos não foi explicitamente incorporada a estas técnicas;
- A maioria das técnicas não trata da interdependência existente entre os fatores de desempenho, não favorecendo então a modelagem das ações humanas de modo fiel ao problema.
- Com a dificuldade em utilizar árvore de eventos na modelagem dinâmica do sistema, não se considera a influência de um evento no outro.

Exemplos de técnicas pertencentes à 2ª geração são: *Cognitive Environment Simulator* (CES), *Intention Event Tree System* (INTENT), *Cognitive Event Tree System* (COGENT), *EPRI Project on Methods for Addressing Human in Safety Analysis*, *Human Interaction Timeline* (HITLINE), *A Technique for Human Error Analysis* (ATHEANA) e *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (CREAM).

Há outra técnica em que o modelo do operador consiste no modelo IDAC (*Information, Decision and Action in Crew Context*) combinado a uma árvore dinâmica de eventos, com o objetivo de modelar as causas para o sucesso ou erro de um operador inserido numa sala de controle de uma planta de energia nuclear, o qual apresenta os fatores que influenciam a resposta deste operador, quando o mesmo é submetido a situações anormais em um sistema complexo (Chang & Mosleh, 1999). Têm-se como características principais desta técnica:

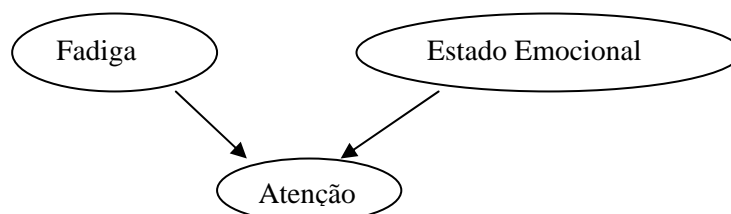
- Descobertas interessantes na psicologia cognitiva, ciências comportamentais, neurociências, fatores humanos, e outras áreas;
- Consideração da relação de dependência entre a maioria dos FDs, exceto da interdependência existente entre os fatores externos, assim como da relação entre os fatores fisiológicos;
- A interação entre operadores não é quantificada;
- Com a dificuldade em utilizar árvore de eventos na modelagem dinâmica do sistema, não se considera a influência de um evento no outro.

Como é possível perceber, as técnicas de ACH de 1ª e 2ª geração e o modelo IDAC, apresentaram deficiências, de modo que eles não sejam suficientemente efetivos de uma evolução com melhorias significativas para estudar a interface homem-sistema, já que a interdependência entre os fatores de desempenho não é tratada nestes modelos, o que não favorece a modelagem das ações humanas, com fidelidade à análise que se queira realizar. Portanto, é necessário o uso de uma metodologia para avaliar a confiabilidade humana, e assim modelar as causalidades existentes nas atividades realizadas pelo homem. Através da modelagem das ações humanas por Redes Bayesianas (Pearl, 1996), as maiores deficiências dos métodos tradicionais foram solucionadas, o que proporcionou uma maior flexibilidade às variáveis que pertencem a um determinado contexto. A técnica que utiliza Redes Bayesianas (RBs), chamada aqui de 3ª geração, será apresentada a seguir.

### **Técnicas de 3ª Geração**

Como tentativa de solucionar os problemas encontrados nas técnicas tradicionais para modelagem das causas que influenciam no desempenho humano e assim contribuem para o erro, é proposta a metodologia baseada na filosofia Bayesiana, que permite uma interpretação subjetivista da probabilidade, ou seja, é inerente a cada indivíduo, de acordo com o grau de conhecimento que se tenha (Martz & Waller, 1982).

Para sistemas complexos, onde a quantidade de variáveis é elevada, são utilizadas RBs (Neapolitan, 2004), que são estruturas gráficas acíclicas que permitem representar dependências (que são os arcos) entre as variáveis aleatórias (que são os nós da rede), em um modelo probabilístico; em problemas onde haja incerteza (Korb & Nicholson, 2003). O direcionamento dos arcos estabelece relações de causa e efeito entre as variáveis aleatórias, e estas são quantificadas por uma distribuição de probabilidades condicionais, em que é realizada a associação de cada nó aos seus prováveis causadores diretos (Menêzes & Drogue, 2005). Abaixo, é apresentado o modelo de uma RB (figura 1), em que a variável “Atenção” é influenciada pelas variáveis “Fadiga”, “Estado Emocional”, ou seja, a fadiga e o estado emocional de um indivíduo influenciam na sua atenção.



[Figura 1 – Rede Bayesiana]

Matematicamente, uma Rede Bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema (Marques & Dutra, 2000).

Como as técnicas tradicionais não são capazes de modelar de maneira satisfatória os erros humanos, Mosleh & Chang (2004) apresentaram expectativas quanto a métodos futuros. Menêzes & Drogue (2007) apresenta algumas destas perspectivas e também é mostrado como RBs podem ser utilizadas para tais expectativas:

- Há uma representação mais real e dinâmica das interações homem-sistema, já que as relações do contexto mais relevantes estão presentes na rede e são expressas por probabilidades condicionais;
- É possível atualizar o problema através das inferências subjetivas e empíricas;
- Há flexibilidade de se representar novos conhecimentos, ou seja, inclusão de novas causas e efeitos, já que apenas é alterada a distribuição de probabilidades condicionais de tal efeito;
- Pequenos desvios no comportamento humano são tratados, desde que estejam na rede, isto é, há sensibilidade a variabilidade do comportamento humano;
- RBs contextualizam o erro, tanto de maneira qualitativa - através dos causadores presentes vistos na estrutura gráfica da rede, quanto de modo quantitativo - com o cálculo das probabilidades condicionais da rede bayesiana.

Por outro lado, do ponto de vista de um especialista, RBs constituem um modelo gráfico que representa as relações de causalidade das variáveis de um sistema. Estas Redes facilitam a modelagem das ações humanas, pois é possível admitir as relações de dependência entre os fatores de desempenho (FDs), ou seja, a dinâmica das relações do homem com o contexto, outras pessoas e as máquinas utilizadas.

Abaixo, é apresentada uma tabela com o ano de proposta dos métodos.

Geração	Métodos	Ano de Proposta
1ª	Accident Investigation and Analysis (AIPA)	1975
	A Technique for Human Error Analysis (THERP)	1975
	Confusion Matrix (CM)	1981
	Operator Action Tree (OAT)	1982
	Socio-Technical Assessment of Human Reliability (STHR)	1983
	Expert Estimation (EE)	1984

	Success Likelihood Index Method/Mult-Attribute Utility Decomposition (SLIM/MAUD)	1984
	Maintenance Personnel Performance Simulation (MAPPS)	1984
2 <sup>a</sup>	Cognitive Environment Simulation (CES)	1988
	Intention Event Tree System (INTENT)	1990
	Cognitive Event Tree System (COGENT)	1992
	EPRI Project on Methods for Addressing Human in Safety Analysis	1995
	Human Interaction Timeline (HITLINE)	1994
	A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA)	1996
	Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)	1998
	IDAC	1999
3 <sup>a</sup>	Redes Bayesianas	2005

[Tabela 1 – Ano de proposta dos métodos de 1<sup>a</sup>, de 2<sup>a</sup> e de 3<sup>a</sup> geração]

Conhecidas as técnicas mais utilizadas de Análise de Confiabilidade Humana, na próxima seção são analisadas as aplicações de ACH desde o início de seus estudos até os dias atuais, sendo considerado o número de publicações que foram observadas neste tempo.

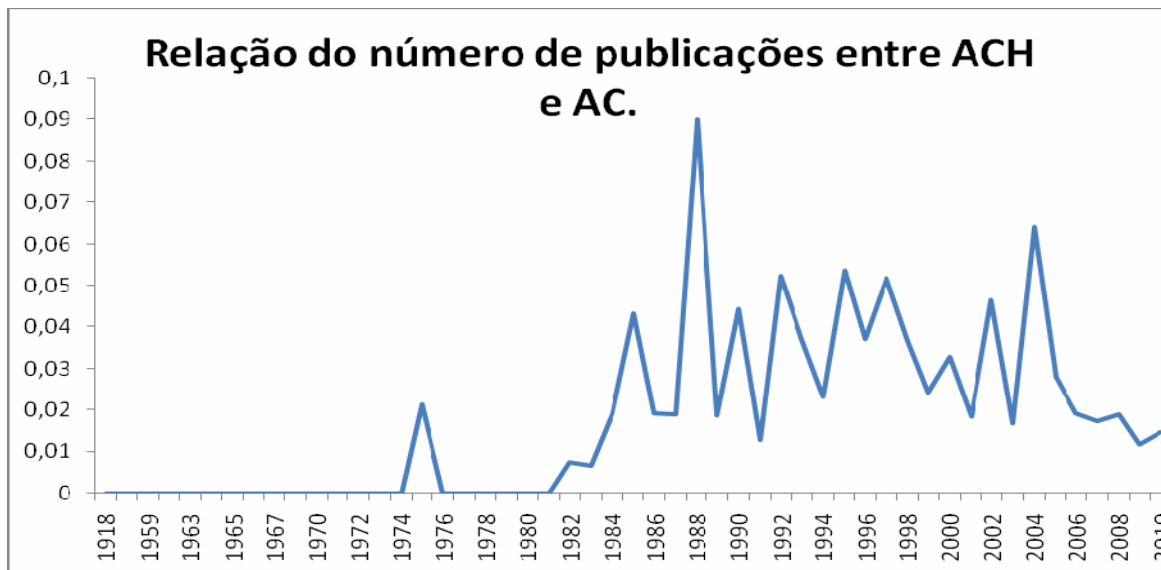
### 3. As aplicações da ACH ao longo da história

A fim de se saber como está o desenvolvimento das técnicas de ACH, foi iniciada uma pesquisa com relação a um horizonte de cinco anos, que objetiva avaliar o que há de novo em ACH e como esta tem sido utilizada em diferentes áreas de aplicação. Para isto, também foram pesquisadas publicações mais antigas, desde quando há registros digitalizados de estudo em ACH, em 1975. Esta pesquisa ao mesmo tempo tem como finalidade saber se outras técnicas de ACH foram propostas pela literatura e o nível de utilização das técnicas existentes.

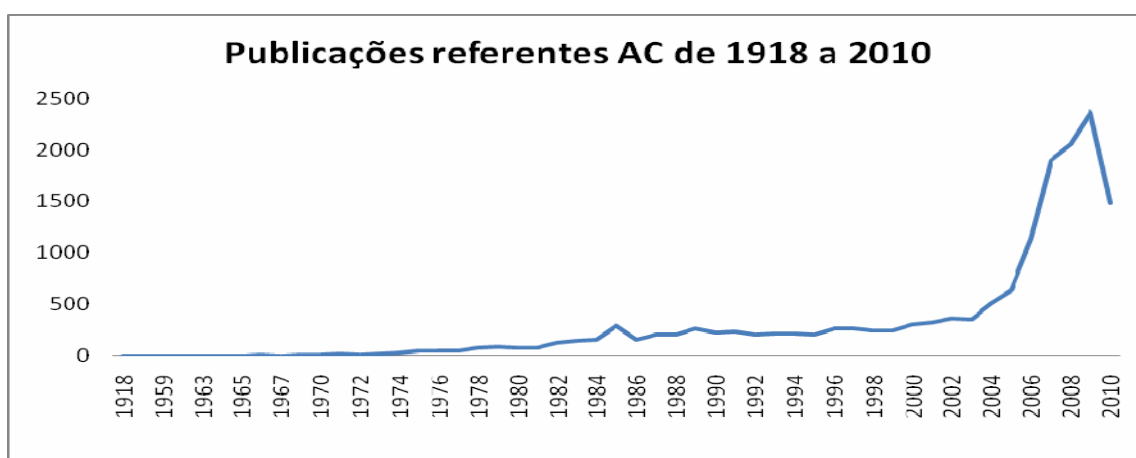
Atualmente, pode-se recorrer a diferentes fontes de pesquisa, com destaque para os meios eletrônicos. Neste sentido, pode-se citar a *Scopus*, o *Portal de Periódicos da Capes* e o *Google*, que realizam pesquisas de acordo com palavras ou citações que tenham relação com o tema tratado. Neste trabalho adotou-se como fonte principal para observação das aplicações da ACH a página eletrônica da *Scopus*, pois esta oferece uma melhor interface com o usuário e estatísticas relacionadas à produção científica. A pesquisa de palavras intrínsecas ao tema que se deseja estudar é importante, pois se consegue contextualizar as principais informações contidas nos documentos a partir destes vocábulos. É útil para que se confirme a concordância da palavra observada com o tema que se deseja informações.

Há registros de estudo em Análise da Confiabilidade Humana desde os anos 70. A primeira publicação de ACH é datada de 1975 e interessou-se pelo método THERP, da 1<sup>a</sup> Geração, na predição das taxas de erros humanos e na avaliação do desempenho humano como provável causa de uma degradação de sistemas homem-máquina. É descrita a aplicação deste método naquela época. Apesar do aumento no número de citações de ACH, sua aderência tem se mostrado discreta na aplicação da engenharia da confiabilidade. Isto é apresentado no gráfico da figura 2 abaixo, em que se pode visualizar a relação entre o número de publicações da ACH e da Análise da Confiabilidade (AC) de um modo geral. Analisando o gráfico, é possível perceber que a frequência relativa do número de citações à ACH tem apresentado uma tendência discreta de decaimento desde a década de 90. Esta realidade também pode ser observada quando se analisa

os gráficos seguintes. A taxa de crescimento do número de citações à AC mostra-se bem mais elevada do que a de ACH, principalmente na última década, onde o número de citações à AC apresentou um comportamento exponencial.



[Figura 2 – Relação entre o número de publicações entre ACH e AC.]



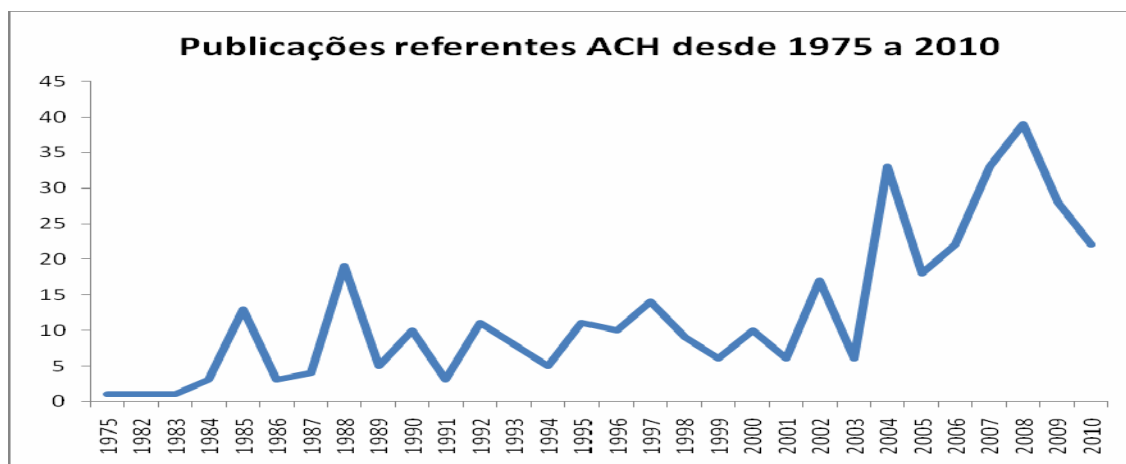
[Figura 3 – Publicações referentes a AC de 1918 a 2010.]

A pesquisa das palavras-chave foi realizada utilizando-se a língua inglesa nas páginas de referência citadas acima. A primeira palavra-chave utilizada para o estudo foi “human reliability analysis”, em que foi possível verificar que o número de pesquisas compreendido neste tema. A última busca forneceu um total de 360 pesquisas, de 1975 até o presente momento. Em 05 de Julho de 2010, esta pesquisa foi concluída e até este momento houve 11 pesquisas neste ano.

Abaixo, é apresentada a série histórica do número de publicações que fazem referência à palavra-chave “human reliability analysis”, já sendo incluído o ano de 2010. É importante observar que não é conhecida a distribuição do número de publicações no decorrer do ano, e por isto considera-se que o número de publicações é distribuído uniformemente em todos os meses.



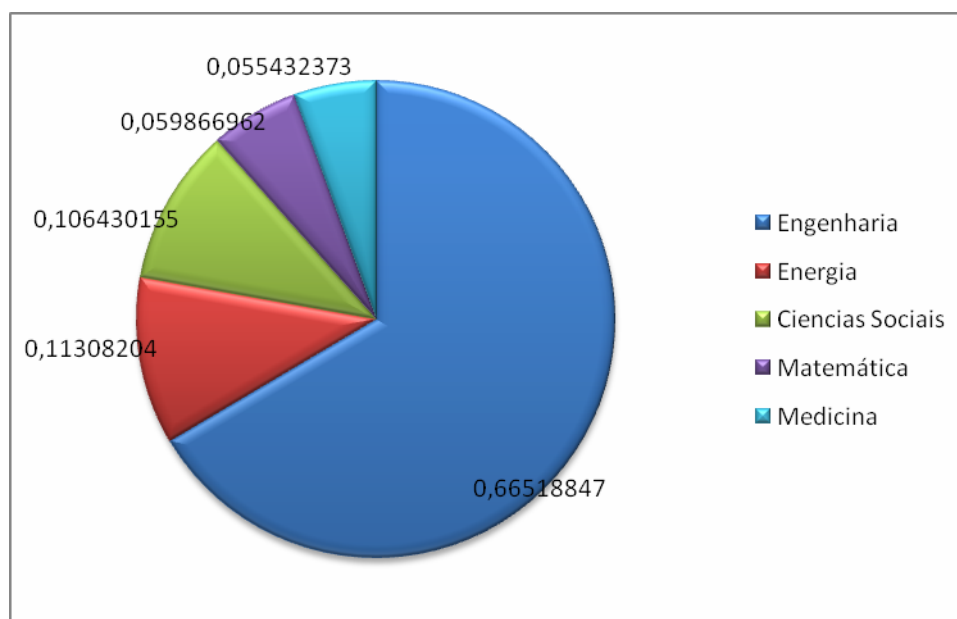
Com isto, pode-se inferir que este ano terão 22 artigos relacionados ao tema da ACH, aproximadamente.



[Figura 4 – Publicações referentes a ACH desde 1975 a 2010]

Tomando como referência a palavra-chave “human reliability analysis”, questiona-se o porquê da destoante diferença no número de publicações relacionadas à ACH e à AC, pois as duas pesquisas são de suma importância para o desenvolvimento de operações, homens e sistemas. A ACH não é tão usada quanto AC e uma justificativa para tal constatação seria o uso ainda das primeiras gerações da ACH. Dentre as 360 publicações enumeradas, apenas 10 fizeram uso das metodologias de modelagem e análise mais recentes. Como visto nas seções anteriores, as técnicas de 1ª e 2ª geração não são capazes de formular modelos mais realísticos, pois possuem suposições irreais de independência, realizadas por métodos como árvores de eventos e de falhas, que apresentam muitas dificuldades na modelagem das ações do homem e suas interações com o ambiente. Entretanto, note-se também o desafio de recorrer a técnicas mais elaboradas tais como RBs. Embora RBs possibilitem a superação de muitas das deficiências das técnicas de 1ª e 2ª geração, sua aplicabilidade requer um nível de refinamento técnico bem mais apurado, requerendo dos analistas responsáveis pela modelagem habilidades além daquelas requisitadas nas gerações anteriores. A compreensão e utilização do conceito de probabilidade condicional é um exemplo disso. Defende-se aqui a ideia de que as deficiências dos modelos de 1ª e 2ª geração vieram à tona na medida em que as políticas de tomada de decisão neles baseadas mostraram-se inadequadas; isto é, os resultados esperados não foram alcançados.

A observação das publicações proporciona também serem analisadas as áreas de pesquisa em que mais existe o desenvolvimento do tema tratado, como também avaliar onde a ACH tem sido mais utilizada e como é empregada. Nota-se também qual a metodologia mais tem sido utilizada e verifica-se se são desenvolvimentos metodológicos ou casos de aplicação (figura abaixo).



[Figura 5 – Pesquisas divididas por áreas]

Do total de pesquisas compreendidas entre 1975 e 2010, ainda utilizando “human reliability analysis” como palavra-chave, a área da Engenharia desponta no número de citações, em comparação com as outras áreas, com 300 artigos. Seguido a Engenharia, tem-se Energia, com 51 citações; Ciências Sociais com 48; e outras áreas como Matemática, com 27 e Medicina, com 25. A figura 5 acima apresenta um gráfico onde é possível visualizar estes números em frequência relativa. Porém, fica claro que mais pesquisas existiram na área de engenharia e suas vertentes, com a preocupação constante de encontrar maneiras de entender as ações humanas e como as atividades das pessoas podem ser influenciadas por seu ambiente de trabalho, suas emoções, enfim, pelos fatores de desempenho (FDs), que são todos os fatores que de alguma forma afetam a confiabilidade humana e conseqüentemente contribuem para a probabilidade de o homem errar (Swain & Guttmann, 1983). Os FDs podem ser internos ao trabalhador, como habilidade, estado emocional, experiência, treinamento, conhecimento de normas e outros; e externos, como as características do ambiente de trabalho (temperatura, luminosidade, ruído, umidade), os fatores da Organização (carga de trabalho de um operador, a complexidade para realizar a tarefa, procedimentos de trabalho, política da empresa, design de equipamentos), fatores relacionados à equipe, a relação de trabalho entre os operários, treinamentos inadequados, entre outros.

#### 4. Discussões

A principal análise que pode ser feita é o fato de os autores ainda não terem aderido ao uso das técnicas de 3ª Geração da ACH. Isto é percebido nas próprias publicações, observando quais técnicas foram utilizadas para se realizarem os experimentos, e até mesmo em citações de qual o melhor método a ser utilizado. Os autores ainda chamam de novas técnicas de Análise da Confiabilidade Humana o que foi proposto pelas primeiras gerações, como por exemplo, *A new for estimating human error probabilities: AHP-SLIM*, de Park, K.S. & Lee, J.I. (2007), em que os autores chamam de um novo método o uso de uma Análise Hierárquica de Tarefas (AHT), juntamente com o Método do Índice da Probabilidade de Sucesso – SLIM, que é um método de 1ª geração (proposto em 1984). A AHT é um método utilizado para descrever e organizar as tarefas que deverão ser executadas durante a realização de um trabalho, em uma escala de atividades, com o nível de detalhamento desejado para cada uma delas (Kirwan & Ainsworth, 1992). Também Melo (2007) em seu estudo da Análise da Confiabilidade Humana na Avaliação

Quantitativa do Risco (AQR) cita como técnicas mais comuns para ACH a *THERP*, que é uma predição de taxas de erros humanos e *OAT*, que é a árvore de ações do operador. Há também o fato de muitos estudos serem apenas uma análise qualitativa dos dados, com a observação dos fatores de desempenho e de condições que possam interferir nas tarefas, fazendo a montagem da árvore de eventos e de falhas e outros meios de avaliação que correspondem às primeiras gerações de ACH.

O não-desenvolvimento da técnica que utiliza RBs em ACH pode ser caracterizado pelos pré-requisitos para sua adoção e, também, devido à grande quantidade de probabilidades condicionais necessárias para sua montagem e análise. A falta de dados para estimação da probabilidade do erro humano condicionada aos seus diversos fatores causais é um dos maiores problemas para ACH, pois os erros humanos raramente são preservados em bancos de dados, sendo então necessária a quantificação da opinião de especialistas para a parametrização da rede e subsequente análise quantitativa. Especialistas são pessoas com grande conhecimento em determinado assunto ou área de estudo, que devem ter experiência neste campo. Devido a incertezas relacionadas à probabilidade subjetiva deste especialista e ao protocolo de educação da opinião do especialista, tem sido muito difícil obter o conhecimento do especialista e um grande desafio para psicólogos ao longo dos anos.

Outra observação que pode ser feita é quanto à formalidade matemático-probabilística intrínseca a RBs. Sem o domínio quanto ao conceito de probabilidade e causalidade não-determinística sua elaboração, interpretação e uso tornam-se desafios insuperáveis. A causalidade determinística é, de fato, a mola regente dos métodos tradicionalmente adotados para ACH: árvores de falhas e de eventos. Em tais métodos, um evento que é o efeito de dado conjunto de causadores certamente ocorrerá caso tal conjunto de causas ocorra, anulando qualquer incerteza na relação causal. Relação causais não-determinísticas são características marcantes do formalismo de RBs. Note-se, além disso, a necessidade do desenvolvimento de uma linguagem que permita que o analista, uma vez munido das competências requeridas para a adoção de RBs, obter os requisitos de informações necessários à modelagem.

Por fim, ressalte-se o franco desenvolvimento de softwares que possibilitem o uso de RBs de maneira mais expressiva, não havendo ainda pacotes consolidados no mercado. Muito tem se estudado sobre como manipular a rede e obter os parâmetros de confiabilidade e riscos necessários à tomada de decisão; softwares que encapsulem tais métodos têm sido cada vez mais apresentados à comunidade em geral. Citem-se como exemplos os AgenaRisk © e o WinBUGS ©.

Acredita-se que sem a abordagem adequada a frequência de uso da ACH, aqui refletida pela frequência de citações na literatura, continuará a diminuir. Neste sentido, faz-se necessária a elaboração de softwares para modelagem via formalismos mais sofisticados que os tradicionais, tais como RBs, e a qualificação do corpo técnico para tanto; trata-se de um problema de confiabilidade humana sobre a própria modelagem da confiabilidade.

## 5. Referências

Menêzes, R. C. & Droguett, E. L. (2005) - Uma metodologia para a Avaliação da Confiabilidade Humana em atividades de substituição de cadeias de isoladores em linhas de transmissão. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências.

Menêzes, R. C. & Droguett, E. L. (2007) - Análise da confiabilidade humana via redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão. Produção vol.17 no.1, São Paulo.

Modarres, M. (1993) – What every engineer should know about reliability and risk analysis. Taylor Print on Demand.

- Melton, A. W. (1936) – The methodology of experimental studies of human a methodology and the available criteria for evaluating different experimental methods. University of Missouri.
- Doughrty & Fragola (2005) - Análise de Confiabilidade Humana: Um método de Engenharia de Sistemas e sua aplicação em Plantas Nucleares.
- Hollnagel, E. (1998) - *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*. Elsevier Science. 1ª Edição. Oxford.
- Vergara (2005) - Estudo de estruturas cognitivas na análise da confiabilidade em sistemas homem-máquina. XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil.
- Kim, I. S. (2001) - Human reliability analysis in the man-machine interface design review. *Annals of Nuclear Energy*.
- Chang, Y. H. & Mosleh, A. (1999) - Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents (ADS-IDACrew). *Center for Technology Risk Studies*. University of Maryland.
- Martz, H. F. & Waller, R. A. (1982) - *Bayesian Reliability Analysis*. Krieger Publishing Company. 2ª Edição. Florida.
- Neapolitan, R. E. (2004) - *Learning Bayesian Networks*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Korb, K. B. e Nicholson, A. E. (2003) - *Bayesian artificial intelligence*. Chapman & Hall/CRC. Florida.
- Stamatelatos, M. (2002) – Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners. NASA Headquarters, Washington, DC.
- Mosleh, A. & Chang, Y.H. (2004) – Model-based human reliability analysis: prospects and requirements. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 241-253.
- Marques, R.L. & Dutra, I. (2000) - Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações. Notas de aula, UFRJ.
- Swain, A D & Guttman, H. E. (1983) - Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. US Nuclear Regulatory Commission. Washington.
- Melo (2007) – Análise da Confiabilidade Humana (ACH) na AQR. 11o Congresso de Atuação Responsável, São Paulo, SP.
- Kirwan, B. & Ainsworth, L. K. (1992) – *A guide to task analysis*. Taylor & Francis. Washington.
- Park & Lee (2007) - A new method for estimating human error probabilities: AHP–SLIM. *Reliability Engineering and System Safety* 93 (2008) 578–587.
- Firmino, P. R.; Menêzes, R. C. & Droguett, E. L., E. L. (2005) – Análise de Confiabilidade Humana via Redes Bayesianas. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Gramado, RS.
- Pearl, J. (1988) – Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference. Morgan Kaufmann, San Mateo, C.A.