

## IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS NA CONSTRUÇÃO DE HIDRELÉTRICAS: UMA APLICAÇÃO FUZZY AHP NA AHE SANTO ANTÔNIO

**José Roberto Ribas**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos de Silveira Ramos, 149 – Sala F.101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro - RJ  
ribas@poli.ufrj.br

**Mariana Talita Gomes Pinheiro**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos de Silveira Ramos, 149 – Sala F.101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro - RJ  
marianatalita@poli.ufrj.br

### RESUMO

O aproveitamento hidrelétrico dos afluentes do rio Amazonas com usinas a fio d'água tem se revelado como uma alternativa ecologicamente viável para o atendimento da demanda energética nacional. Tais empreendimentos representam uma importante solução para a agregação de capacidade, entretanto, devido às características geográficas e socioeconômicas da região, apresentam riscos que não podem ser desconsiderados. A pesquisa trata da aplicação de uma análise multicritério para identificação dos eventos de risco para usinas hidrelétricas em construção, relacionadas a pacotes de serviço relevantes ao projeto, por meio da técnica Fuzzy AH. Em seguida, foi avaliada a existência de convergência de opinião sobre a ordem hierárquica dos riscos percebidos por dois grupos distintos, do consórcio proprietário e do consórcio construtor da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio. Concluiu-se que os dois grupos apresentam percepções distintas, as quais decorrem, principalmente, do modo como o contrato foi estabelecido, o qual distribui os riscos de modo desigual entre as partes.

**PALAVRAS CHAVE.** Eventos de risco, usinas hidrelétricas, Fuzzy AHP.

**Area principal:** ADM, EN.

### ABSTRACT

The hydroelectric development of the tributaries of the Amazon River with run-of-river power plants have shown as being an ecologically feasible alternative to meet national energy demand. Such developments represent one important solution to the aggregation of power capacity, however, due to the geographical and socioeconomic features of the region, their related risks cannot be disregarded. This research aims at using a multicriteria analysis for identifying risk events of hydropower plants under construction. They are related to work packages relevant to the project, by means of a Fuzzy AHP technique. Then, it was assessed the existence of opinion convergence between the risk hierarchy as perceived by two different groups, the owners consortium and the constructor consortium of the Santo Antônio hydropower plant. It was concluded that such groups had different perceptions, which derive, mainly, from the type of contract established, which places risks in an unequal manner between the parties.

**KEYWORDS.** Eventos de risco, usinas hidrelétricas, Fuzzy AHP.

**Main area:** ADM, EN.

## 1. Introdução

Para que o projeto seja bem sucedido, durante o processo de gerenciamento de projetos de risco (PGPR) é necessário identificar todos os riscos significativos, as suas consequências e as chances de elas ocorrerem. Avaliações são feitas individualmente para poder dar sustentação às prioridades e alocação de recursos e, em geral, será possível solucionar mais de um risco a partir das estratégias apropriadas que estarão sendo adotadas. Para tanto, é necessário aumentar a capacidade de organização de estender os processos globais de gerenciamento de riscos da organização e aplicá-los de forma consistente são alguns dos objetivos gerais do PGPR. Tais atividades de gestão se prolongam durante todo o projeto, havendo uma integração com outras funções de gerenciamento. O processo de avaliação irá determinar suas chances de ocorrência e grau de impacto sobre os recursos do empreendimento e, por consequência, a ordem hierárquica a ser atribuída a importância dos mesmos. É nesta ordem que deve ser aplicado o maior esforço no tratamento de riscos (CHAPMAN e WARD, 2003; COOPER *et al.*, 2005).

Os grandes empreendimentos de construção carregam, por suas diversas características, risco de diversas naturezas que sugerem um maior empenho na sua identificação e controle. As formas de controle mais recorrentes nestes projetos incluem os controles de gastos, de cronograma e de qualidade do desempenho. Ademais, procura-se mitigar os riscos relativos à saúde, à segurança e ao meio ambiente durante a construção e adotar o uso de recursos, de conhecimentos e de experiências na área de engenharia. Em particular, a metodologia de classificação de riscos sugerida pelo Project Management Institute (PMI, 2008) e por Rafaele *et al.* (2005) e por Hillson *et al.* (2006) é aplicada por Rassoola *et al.* (2012) na avaliação de projetos de construção.

O presente trabalho apresenta uma proposta para a identificação e determinação da hierarquia dos riscos em projetos de geração hidrelétrica, avaliando a existência de convergência da percepção sobre os riscos entre os dois grupos de agentes envolvidos, o consórcio proprietário e o consórcio construtor. É realizado um estudo de caso na usina hidrelétrica de Santo Antônio, aproveitamento localizado no estado de Rondonia.

A análise multicritério tem sido utilizada com relativa intensidade na análise e avaliação de riscos, com destaque para os métodos de sintetização simples. Mais especificamente, a literatura é ampla quando se trata do método *FuzzyAnalytic Hierarchy Process* (FAHP) (ZOU *et al.*, 2013; CHAN e WANG, 2013; ARIKANA, DAGDEVIRENA e KURTA, 2013; LI, 2013; AVDI, ZAIRI e DHIA, 2013; LI *et al.*, 2013).

No aspecto dos projetos e gestão da construção de empreendimento, Rahmana *et al.* (2013) propõem um procedimento sistemático para a modelagem dos riscos. Tang *et al.* (2013) estenderam a técnica para relacionar e mensurar o grau de importância dos riscos em projetos de mineração. Nos empreendimentos de geração elétrica, Kim e Yarlagadda (2013) propuseram um procedimento para a modelagem e análise dos riscos em projetos na região oeste da China. Zhan, Sun e Wang (2013) utilizaram uma combinação de técnicas em ambiente *fuzzy* para identificar riscos em projetos de geração hidrelétrica. Da mesma forma, Zeng e Smith (2007) propuseram um metodologia e a colocaram em prática por meio de um ensaio para grandes projetos. Wang e Zhou (2013) avaliaram as diferenças na alocação dos riscos contratuais existentes entre construtores e empreendedores. A hierarquização de alternativas foi explorada por Zhua, Jinga e Chang (1999).

Neste último aspecto, os projetos com capital governamental têm se caracterizado por transferir a responsabilidade pelo projeto, aquisição de materiais, contratação de serviços de terceiros e construção a uma empresa ou um consórcio, requisitando apenas que estas entreguem a usina com certas características funcionais previamente estabelecidas (KANG, FENG e KHAN, 2005). Análises aplicando a técnica FAHP a estes projetos têm sido adotadas, da mesma forma, a exemplo do método combinado com a técnica TOPSIS proposta por Wang e Li (2013), Zhang, Sun e Wang (2013) e Zegordi, Nik e Nazar (2012).

## 2. Processo Hierárquico Analítico Fuzzy

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método muito utilizado em processos decisórios que envolvem múltiplos critérios. Um dos pontos fortes deste método é a comparação pareada, bastante útil em tomadas decisões complexas, nas quais a percepção humana muitas vezes adquire um papel importante e cujos impactos terão repercussão de longo prazo.

No entanto, como este método não considera as imprecisões e ambiguidades características das decisões tomadas em contextos complexos, surge método FAHP, capaz de lidar com as incertezas inerentes ao processo.

O método permite adicionar, a cada etapa da decisão, uma medida de imprecisão. Esta medida é representada pelo grau de *fuzzificação* ( $\delta$ ), atribuído a cada comparação pareada do processo decisório. Desta forma, a imprecisão é incorporada ao processo de tomada de decisão e permite um tratamento mais coerente com o mundo real, influenciando assim a escolha final.

Chang (1996) propõe o método de sintetização para solução do modelo. Seu algoritmo foi ainda avaliado por ele próprio e dois outros pesquisadores (ZHUA, JINGA, CHANG, 1999), os quais testaram a capacidade demonstrada originalmente pelo algoritmo em resolver problemas de hierarquização associados à lógica fuzzy. Algumas modificações visando otimizar o método foram propostas desde então. Leunga e Caob (2000) sugeriram incorporar um grau de tolerância nos pesos segundo sua ordem de importância. Gu e Zhu (2006) utilizaram o autovetor *fuzzy* de uma matriz simétrica que continha a covariância de variáveis aleatórias relativas a uma tabela de decisão.

Para a problemática que esta pesquisa se propõe a avaliar, tanto os pacotes de serviço, quanto os eventos de risco devem ser suficientemente detalhados de forma a auxiliar a decisão do usuário do método FAHP. A comparação pareada dos pacotes de serviço permitirá a atribuição de pesos aos mesmos. Em seguida, a comparação pareada dos eventos de risco relativas a cada pacote de serviço fornecerá as métricas de desempenho.

Os pesos fornecidos por cada participante foram transferidos para uma planilha eletrônica com o algoritmo FAHP de modo a obter, ao final deste procedimento, as hierarquias dos pacotes de serviço e o peso dos eventos de risco na opinião de um determinado especialista.

Apesar de existirem várias tipos de função de pertinência que possibilitam associar as métricas aos números *fuzzy*, por sua simplicidade, estaremos adotando números *fuzzy* triangulares  $M_i$ , representados por  $(l_i, m_i, u_i)$ , conforme a figura 1, permitindo assim construir a matriz de comparação *fuzzy*. Nesse caso, o valor oriundo da comparação pareada será modelado em uma escala de valores com um determinado grau de imprecisão.

O grau de possibilidade entre dois eventos de risco, de que o impacto de  $M_1 \geq M_2$  é:

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [ \min ( \mu_{M_1}(x) , \mu_{M_2}(y) ) ] \quad (1)$$

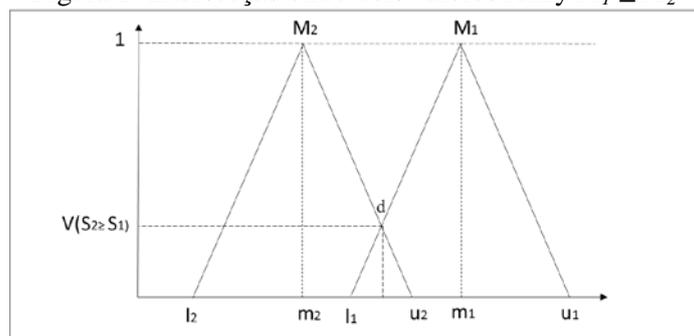
Então:

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \quad \text{se e somente se } M_1 \geq M_2 \quad (2)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \max ( M_1 \cap M_2 ) = \mu_{M_1}(d) \quad (3)$$

Onde “d” representa a ordenada da intersecção mais elevada entre  $\mu_{M_1}$  e  $\mu_{M_2}$  conforme a figura 1, caracterizando assim um número *fuzzy* como sendo convexo.

Figura 1: Intersecção entre dois valores fuzzy  $M_1 \geq M_2$ .



Fonte: Tang e Beynon (2005)

Quando  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  e  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ , a ordenada “d” é dada pela equação:

$$V(M_2 \geq M_1) = \max(M_1 \cap M_2) \quad (3)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (4)$$

Para comparar  $M_1$  com  $M_2$  precisamos de dois resultados:

$$V(M_1 \geq M_2) \text{ e } V(M_2 \geq M_1) \quad (5)$$

O grau de possibilidade para que um número *fuzzy* convexo, entendido como aquele cujo seja maior que  $k$  números *fuzzy* convexos  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ).

$$d'(A_i) = \min V(M_i \geq M_k), (k = 1, 2, 3, \dots, n) \text{ e } k \neq i \quad (6)$$

Então, o vetor de pesos será dado por:

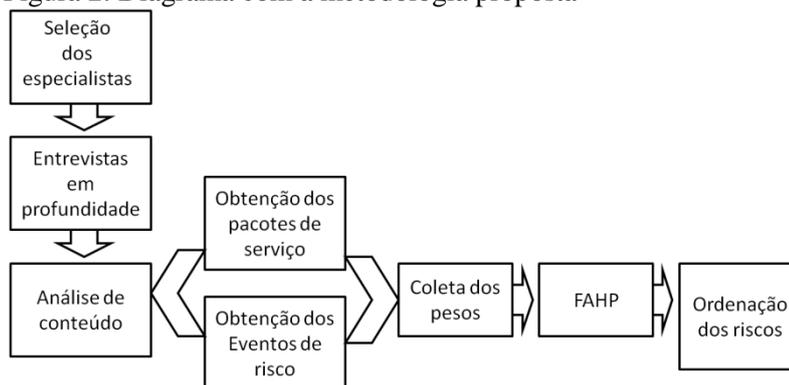
$$W' = [d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), \dots, d'(A_n)]^T \quad (7)$$

Para  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  pacotes de serviço ou eventos de risco.

### 3. Metodologia

A proposta aqui apresentada é composta por sete etapas e o resultado final é uma lista hierarquizada de eventos de risco, que por sua vez auxiliam o gestor de projeto a estabelecer prioridades, alocar recursos e implementar ações que aumentem as chances de sucesso do projeto. As etapas estão representadas na figura 2.

Figura 2: Diagrama com a metodologia proposta



As informações que irão alimentar o modelo de hierarquização dos riscos são os pacotes de serviço indutores de risco, identificados dentro da estrutura analítica do projeto, e os correspondentes eventos de risco, identificados dentro da estrutura analítica de riscos.

Os pacotes de serviço e os eventos de risco são definidos por meio de entrevistas em profundidade com os gestores do projeto. O critério de seleção destes especialistas busca os membros mais influentes, os quais apresentam alto grau de conhecimento quanto ao projeto, além de opiniões e perspectivas diferentes em relação ao mesmo. Os especialistas são divididos em dois

segmentos de partes interessadas. De um lado o consórcio proprietário, do outro o consórcio construtor.

Nas entrevistas em profundidade a abordagem é feita de maneira direta, ou seja, o intuito do encontro é esclarecido no princípio. O especialista é convidado a falar livremente e suas declarações são registradas em formato de depoimento e posteriormente validadas pelos mesmos.

Para garantir uma aquisição maior de informação, os especialistas são estimulados a refletir não só sobre suas áreas de atuação, como também sobre assuntos externos. Nesta etapa, cabe ao entrevistador salientar a necessidade de imparcialidade dos especialistas nos julgamentos referentes aos diversos aspectos do empreendimento.

Para obtenção dos elementos do modelo de risco foi utilizada a técnica qualitativa da análise de conteúdo, a qual identifica com base na coerência dos depoimentos, os pacotes de serviço e os eventos de risco que mais poderiam afetar negativamente o projeto.

Para a obtenção dos pesos, buscam-se todos os especialistas que participaram das entrevistas para uma nova abordagem, na qual são solicitados para preencher um formulário de comparação pareada dividido em duas partes: comparações pareadas entre os pacotes de serviço portadores de risco e entre os eventos de risco sob o ponto de vista de cada um dos pacotes de serviços.

Neste formulário, para cada combinação contendo dois pacotes de serviços, o especialista deve manifestar qual dentre os pacotes de serviços é considerado como sendo o maior portador de risco ao atribuir um escore, segundo um escalonamento nominal de Saaty (1970), cujos escores ímpares variam de 1 a 9, o qual estima o grau de importância entre eles. Isto é repetido até se esgotar o número de pares.

Num segundo momento, um pacote de serviço é fixado e os eventos de risco são julgados aos pares sob o ponto de vista do pacote de serviço fixado. Da mesma maneira, o procedimento é repetido para cada pacote de serviço, até que se esgotem os pares de eventos de risco.

Os resultados isolados para cada um dos entrevistados são obtidos através do FAHP. Para cada entrevistado resultam dois vetores de pesos normalizados, um para os pacotes de serviço e outro para os eventos de risco.

Em seguida, estes resultados são agregados para cada segmento de partes interessadas e são obtidas as médias de cada grupo para os pacotes de serviço e eventos de risco.

#### 4. Objeto de estudo

A Usina Hidrelétrica Santo Antônio está em construção no Rio Madeira, no município de Porto Velho, fazendo parte do complexo do Rio Madeira. A conclusão das obras é prevista para início de 2016. O projeto inicial prevê que 44 turbinas Kaplan de bulbo para geração de energia elétrica com potência de 73,5 megawatts (MW) cada, totalizando 3.150 MW. A usina aumentará sua capacidade instalada, passando para 3.550 MW com a inclusão de 400 MW provenientes de seis turbinas adicionadas ao projeto. Assim, haverá ao final um total de 50 turbinas distribuídas em quatro grupos geradores. Com isto, será a sexta maior do Brasil em potência instalada, e a terceira em energia assegurada.

O empreendimento tem investimento de R\$ 16 bilhões e é referência em construção de hidrelétricas sustentáveis. Os acionistas de Santo Antônio Energia são as empresas Eletrobrás Furnas (39%), Odebrecht Energia (18,6%), Andrade Gutierrez (12,4%), Cemig (10%) e o Caixa FIP Amazônia Energia (20%). A usina hidrelétrica Santo Antônio é uma das primeiras grandes obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do governo federal a entrar em operação.

#### 5. Análise dos resultados

Os especialistas selecionados para as entrevistas em profundidade foram divididos em dois segmentos de partes interessadas. De um lado o consórcio proprietário, do outro o consórcio construtor.

Representando o consórcio proprietário, participaram o gerente técnico (P.1), o responsável pela engenharia do proprietário (P.2) e o engenheiro de saúde e segurança do trabalho (P.3). Para representar o consórcio construtor, participaram os responsáveis pelo empreendimento geral (C.1), pelos contratos e pelas obras civis (C.2), pelo grupo industrial de equipamentos eletromecânicos (C.3), pela montagem eletromecânica (C.4), pela administração contratual (C.5).

Os pacotes de serviços identificados a partir das entrevistas foram:

- Modalidade Contratual (MC) – No caso deste empreendimento, a modalidade é do tipo preço global, ou seja, a entrega da obra com as especificações predefinidas a preço preestabelecido;
- Manejo do Rio (MR) – No contexto das obras de geração hidrelétricas, o manejo do rio consiste na conjugação de princípios ecológicos e sustentáveis com as técnicas construtivas e procedimentos de engenharia, visando mitigar os impactos no ecossistema local decorrente da ação do homem e viabilizar a construção e operação destes empreendimentos;
- Montagem Eletromecânica (ME) – Diz respeito à instalação e comissionamento das turbinas, dos geradores, dos transformadores e barramentos, dos painéis elétricos e de automação, nas subestações, principalmente;
- Obras Civis (OC) – Engloba as atividades de desvio do leito do rio, por meio da construção de ensecadeiras, da construção das barragens, pórticos, sistemas de comportas, vertedouro, tomada d'água e conduto forçado, obras para viabilizar a logística interna, instalação de britadores, centrais de produção de areia, usinas de produção de concreto, estruturas metálicas, pontes rolantes, pórticos, dentre outros;
- Mão de Obra (MO) – Compreende todos os recursos humanos necessários às obras civis, montagem eletromecânica, serviços de apoio, inspeção, supervisão e gestão estão previstos neste pacote de serviço. Refere-se a mão de obra própria e os serviços terceirizados.

E os eventos de risco identificados foram:

- Ciclo Hidrológico (CH) – A sazonalidade das estações climáticas, cujos reflexos na região amazônica são potencializados pelo grande vazão existente no rio Amazonas, seus afluentes e efluentes, representa um elemento essencial no planejamento e construção de obras de engenharia neste local;
- Especificação do Produto (EP) – Uma obra com o tamanho da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio utiliza uma imensa quantidade de materiais, peças, componentes e equipamentos fabricados por diferentes fornecedores. As características técnicas e funcionais destes insumos são especificadas nos projetos e memoriais técnicos, muitos deles com tolerâncias mínimas nas dimensões e tipos de materiais. Quando um destes não atinge os padrões de conformidade exigidos, ocasiona perdas de tempo, de materiais, de serviços, dentre outros, podendo impactar no prazo e qualidade do empreendimento;
- Qualidade do Serviço (QS) – A capacidade, qualificação e dimensionamento adequado da mão de obra, o planejamento das atividades, a coordenação dos serviços, o controle e organização, o detalhamento e clareza nos trabalhos a serem executados, a segurança, dentre outros procedimentos, são fundamentais para que não ocorram problemas de não conformidade no resultado dos trabalhos;
- Interface (IN) – Em uma obra de grande porte, diferentes equipes trabalham em etapas que se complementam, resultando em um produto completo. Isto ocorre com a logística, obras civis, montagens, testes e detalhamentos de procedimentos de engenharia. Equipamentos e serviços são interdependentes e, portanto, sujeitos a problemas de acoplamento, sintonia de tempos e movimentos, dentre outros. As falhas específicas ou isoladas comprometem o produto completo;
- Paralisações (PA) – As paradas não programadas em atividades de engenharia ocorrem por iniciativa, incapacidade ou falhas no planejamento da mão de obra, nos problemas de diversas ordens enfrentados pelos fornecedores, a exemplo de paradas produtivas não

programadas, problemas de transporte e desembarços nas alfândegas, dentre outros. As paralisações afetam principalmente a componente de tempo, mas não limitadas apenas a esta. As consequências podem se alastrar para problemas de uniformidade estrutural (a exemplo de serviços de concretagem interrompidos), de danos em peças e componentes sujeitos a intempéries, dentre outros.

Para cada entrevistado, o preenchimento do formulário de comparação pareada gerou uma matriz de importância dos pacotes de serviço e uma matriz importância e dos eventos de risco tendo em vista um determinado pacote de serviço. Na tabela 1a se observam os escores atribuídos para os pacotes de serviço pelo entrevistado P1. Na tabela 1b se observam os escores dos eventos de risco em relação ao pacote de serviço Modalidade Contratual pelo mesmo entrevistado.

Tabela 1a: Escores para os pacotes de serviços atribuídos por P1

		MC	MR	ME	OC	MO
Modalidade Contratual	MC	1	7	7	7	7
Manejo do Rio	MR	1/7	1	1/7	1/7	7
Montagem Eletromecânica	ME	1/7	7	1	7	7
Obrascivis	OC	1/7	7	1/7	1	7
Mão de obra	MO	1/7	1/7	1/7	1/7	1

Tabela 1b: Escores para eventos de risco paraa Modalidade Contratual atribuídos por P1.

		CH	EP	QS	IN	PA
Ciclo Hidrológico	CH	1	3	1/5	3	1/3
Especificação do Produto	EP	1/3	1	1/7	3	1/2
Qualidade do serviço	QS	5	7	1	5	1/3
Interfaces	IN	1/3	1/3	1/7	1	1/5
Paralisações	PA	5	3	3	5	1

Os cálculos pelo método FAHP foram realizados individualmente para cada entrevistado, de acordo com o algoritmo apresentado no capítulo 2, atribuindo-se um grau de fuzzificação ( $\delta$ ) igual a 1. Conforme a equação [7], uma vez calculados os pesos individuais  $W'$  para os pacotes de serviço e eventos de risco, tais vetores foram agregados para todos os entrevistados pertencentes ao consórcio proprietário e ao consórcio construtor, respectivamente, sendo posteriormente normalizados para ambos os grupos.

Os resultados para o grupo do consórcio proprietário estão exibidos na tabela 2a para os pacotes de serviço e na tabela 2b para os eventos de risco. A última coluna para cada uma das tabelas demonstra a hierarquização na opinião média dos entrevistados deste grupo.

Tabela 2a: Pesos dos pacotes de serviço para o consórcio proprietário

		P.1	P.2	P.3	Média	Ordem
Modalidade Contratual	MC	0,6646	0,4713	0,0000	0,3786	1°
Manejo do Rio	MR	0,0000	0,0973	0,0000	0,0324	4°
Montagem Eletromecânica	ME	0,3354	0,4314	0,2709	0,3459	2°
Obras Civis	OC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	5°
Mão de Obra	MO	0,0000	0,0000	0,7291	0,2430	3°

Na visão do consórcio proprietário, a modalidade contratual e a montagem eletromecânica são os pacotes de serviço que causam maior impacto negativo sobre o projeto.

Tabela 2b: Escores para eventos de risco para o consórcio proprietário

		P.1	P.2	P.3	Média	Ordem
Ciclo Hidrológico	CH	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	5 <sup>o</sup>
Especificação do Produto	EP	0,0000	0,6014	0,0687	0,2234	3 <sup>o</sup>
Qualidade do Serviço	QS	0,6265	0,3986	0,2121	0,4124	1 <sup>o</sup>
Interfaces	IN	0,0000	0,0000	0,1588	0,0529	4 <sup>o</sup>
Paralisações	PA	0,3735	0,0000	0,5604	0,3113	2 <sup>o</sup>

Com relação aos eventos de risco, os representantes do consórcio proprietário consideram a qualidade do serviço como o evento capaz de trazer as consequências mais graves para a obra. A qualidade do serviço refere-se ao não atendimento a critérios de conformidade nas obras civis e eletromecânicas. Em seguida, as paralisações, causadas pelos empregados do consórcio construtor ou por situações envolvendo fornecedores, é o evento de risco que ocupa o segundo lugar, afetando principalmente o prazo planejado.

Os resultados para o grupo do consórcio construtor estão representados na tabela 3a para os pacotes de serviço e na tabela 3b para os eventos de risco.

Tabela 3a: Pesos dos pacotes de serviço para o consórcio construtor

		C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	Média	Ordem
Modalidade Contratual	MC	0,6466	0,0000	0,2569	0,0000	0,0000	0,1807	3 <sup>o</sup>
Manejo do Rio	MR	0,0000	0,0000	0,0000	0,4047	0,0000	0,0809	4 <sup>o</sup>
Montagem Eletromecânica	ME	0,2672	0,4010	0,0000	0,0000	0,3511	0,2039	2 <sup>o</sup>
Obras Civis	OC	0,0000	0,0000	0,2543	0,0048	0,0000	0,0518	5 <sup>o</sup>
Mão de Obra	MO	0,0863	0,5990	0,4888	0,5906	0,6489	0,4827	1 <sup>o</sup>

O consórcio construtor identificou a mão de obra e a montagem eletromecânica como os pacotes de serviço de impacto mais significativo no empreendimento.

Tabela 3b: Pesos dos eventos de risco para o consórcio construtor

		C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	Média	Ordem
Ciclo Hidrológico	CH	0,0000	0,0000	0,0921	0,3289	0,0000	0,0842	5 <sup>o</sup>
Especificação do Produto	EP	0,2863	0,1999	0,2481	0,0007	0,0000	0,1470	3 <sup>o</sup>
Qualidade do Serviço	QS	0,1894	0,1999	0,2201	0,2525	0,3838	0,2492	2 <sup>o</sup>
Interfaces	IN	0,2856	0,0000	0,0000	0,1465	0,0822	0,1029	4 <sup>o</sup>
Paralisações	PA	0,2387	0,6001	0,4397	0,2714	0,5340	0,4168	1 <sup>o</sup>

Na ótica do consórcio construtor, o evento de risco que suscita maior preocupação é relativo às paralisações. A qualidade do serviço assume o segundo lugar, o que demonstra a dificuldade de atendimento às especificações de serviço, gerando não conformidades que demandam retrabalho. Segue a especificação do produto, decorrente de problemas com dimensões ou composição de peças e elementos que obrigam o construtor a solicitar ao fornecedor seu reparo ou, na maioria das vezes, ele próprio corrigir a peça.

Para testar a convergência de opiniões entre os dois grupos de interessados, utiliza-se o coeficiente de correlação de Spearman (WILLIS *et al.*, 2004), no qual as estatísticas calculadas para um teste unicaudal com 5% de significância e tamanho amostral com cinco pares de observações resultem em valor superior a 0,829. Esta estatística de teste significa dizer que, caso o valor calculado venha a se situar abaixo do limite, se aceita a hipótese  $H_0$  de que as duas séries

de pesos não possuem a mesma distribuição. E esta é a situação confirmada para ambas as comparações, ou seja, os grupos não possuem opinião de consenso em nenhuma delas.

No caso dos pacotes de serviço, a estatística de Spearmané igual a 0,492, valor este calculado comparando-se as colunas “Média” das tabelas 2a e 3a. O resultado confirma a hipótese  $H_0$  e localiza-se muito distante do valor 0,829, que representa o limiar de aceitação. Assim, configura-se uma situação de divergência entre os grupos dos proprietários e dos construtores no que se refere às áreas que representam maior impacto para o empreendimento. Isto pode ser confirmado pela simples análise do padrão médio de respostas para cada grupo. Por um lado os representantes dos proprietários atribuíram grande importância à Modalidade Contratual, à Montagem Eletromecânica e à Mão de Obra, nesta ordem. Por outro, os construtores enumeraram os mesmos elementos, entretanto, em ordem inversa de importância.

Quanto aos eventos de risco, a estatística igual a 0,747 está ligeiramente abaixo do limiar, indicando uma pequena controvérsia. Os proprietários, na tabela 2b, manifestaram preocupação com a Qualidade do Serviço, as Paralisações e a Especificação do Produto, nesta ordem. Os construtores, na tabela 3b por seu lado, estão atentos com relação aos mesmos problemas, entretanto, invertendo a ordem importância entre os dois primeiros.

A pequena divergência sobre o impacto e importância dos riscos identificada pelos dois grupos é compreensível quando se observa as responsabilidades de cada consórcio. O projeto, as obras e o fornecimento são de responsabilidade dos participantes do consórcio construtor. Há grande esforço por parte deste grupo para lidar com as dificuldades inerentes a estes aspectos. Para solucionar a deficiência de mão de obra, o consórcio construtor liderado pela Odebrecht idealizou o “Projeto Acreditar” para treinar a força de trabalho local. Com relação à montagem eletromecânica, ocorre uma deficiência de mão de obra qualificada responsável pelo fornecimento da montagem eletromecânica. Os três grandes fornecedores entregam os equipamentos eletromecânicos no prazo, entretanto, obrigaram o consórcio construtor a realizar uma quantidade considerável de retrabalho.

Com relação à modalidade contratual, por se tratar de um contrato de preço global, o mesmo tem por filosofia transferir todo o risco para a contratada. Entretanto, do ponto de vista do grupo dos proprietários, esta administração contratual é difícil, pois não há como saber os preços unitários, os quantitativos dos serviços efetivamente executados, e, em última análise, não proporciona boas condições para se reverter possíveis pleitos da contratada.

## 6. Considerações Finais

A obra da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio representa um desafio para a engenharia brasileira. O ambiente de um projeto deste porte é dinâmico e complexo e demanda capacidade de gerenciar suas atividades de acordo com as melhores práticas. Neste sentido, a gestão de riscos surge como uma forma de auxiliar a tomada de decisões rápidas, com um número grande de informações, em um curto prazo.

Apesar da metodologia adotada na identificação dos riscos deste projeto ser razoavelmente simples, seus resultados surgem do tratamento das opiniões dos gestores de diversas áreas de atuação. Assim, é possível identificar os riscos mais sérios sob uma visão sistêmica do projeto.

A lista hierarquizada de riscos, obtida como resultado final é simples e de fácil compreensão e possibilita que informações sólidas sejam transmitidas e avaliadas por todos os membros da equipe, dando condições para que a atenção gerencial seja conferida aos riscos de prioritários.

Nas entrevistas em profundidade, em que o objetivo é coletar o maior número de informações quanto aos pontos críticos do projeto, a facilidade de expressão e transparência dos entrevistados são aspectos de grande importância. Considerando o alto grau de instrução dos entrevistados, os depoimentos obtidos seguiram uma linha de raciocínio clara e, na maioria das vezes, bastante objetiva. Entretanto, a cultura organizacional, que demanda confiança dos líderes, faz com que os mesmos demonstrem certo receio em relatar as dificuldades do projeto

parapessoas externas à equipe, o que prejudica a obtenção de dados. Neste caso, isto ficou ainda mais evidente por se tratar de um empreendimento de grande porte, onde a expectativa de sucesso concerne também a inúmeros grupos de interessados externos, surgindo uma situação em que não há espaço para falhas.

Com isto, na etapa seguinte, de análise de conteúdo, coube ao analista apresentar sensibilidade suficiente para captar os pontos críticos, mesmo que os mesmos não estivessem claros a princípio.

A comparação pareada, que é um dos pontos forte do método FAHP, apresenta uma aplicação pouco complicada nos ambientes organizacionais, uma vez que os usuários demonstram facilidade em entender o procedimento de coleta de pesos e o modo de preenchimento dos formulários.

Esta coleta de métricas se mostra razoavelmente adaptável, pois o julgamento dos especialistas no momento das comparações pondera intrinsecamente à seriedade das consequências dos riscos, bem como a probabilidade de ocorrência dos mesmos. Deste modo a lista de riscos prioritários resultante representa fielmente a situação do projeto, uma vez que é obtida a partir do adequado tratamento das opiniões dos indivíduos mais conhecedores do empreendimento.

## Referências

- ARIKANA, R., DAGDEVIRENA, M. KURTA, M.**, (2013), A Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Model for Strategic Risk Assessment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6, 487-502.
- AVDI, A., ZAIRI, M., DHIA, H.**, (2013), Minimization of environmental risk of landfill site using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and weighted linear combination methodology in a geographic information system environment. *Environmental Earth Sciences*, 68, 1375-1389.
- CHAN, H.K., WANG, X.**, *Fuzzy Hierarchical Model for Risk Assessment: Principles, concepts, and practical applications*. London: Springer, 2013.
- CHANG, D.Y.** (1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.
- CHAPMAN, C. B., WARD, S.C.** *Project Risk Management: Processes, techniques and insights*, 2.ed., Chichester: John Wiley and Sons, 2003.
- COOPER, D.F., et al.** *Project risk management guidelines: Management risk in large projects and complex procurements*. Chichester, John Wiley and Sons, 2005.
- GU, X., ZHU, Q.** (2006). Fuzzy multi-attribute decision-making method based on eigenvector of fuzzy attribute evaluation space. *Decision Support Systems*, 41, 400-410.
- HILLSON, D., GRIMALDI, S., RAFAELE, C.**, (2006), Managing Project Risks using a Cross Risks Breakdown Matrix, *Risk Management*, 8, 61-76.
- KANG, C.C., FENG, C.M., KHAN, H.A.**, (2005), Risk assessment for build-operate-transfer projects: A dynamic multi-objective programming approach, *Computer and Operations Research*, 32, 1633-1654.
- KIM, Y.H., YARLAGADDA, P.**, (2013), Design and Application of Risk Early-Warning System of Electric Power Engineering Projects - A case study of combined heat and power project in Western China. *Applied Mechanics and Materials*, 278-280, 2113-2117.
- LEUNGA, C., CAO, D.** (2000), On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 124, 102-113.
- LI, C.S.**, (2013), Evaluation on Enterprise Resource Planning Project Based on Fuzzy-AHP, in Proceedings of the International Conference on Information Engineering and Applications (IEA), *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 220, 437-442.
- LI, F. et al.**, (2013), Improved AHP Method and Its Application in Risk Identification. *Journal of Construction Engineering Management*, 139, 312-320.
- PMI.** *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 4.ed., Pennsylvania: PMI, 2008.

- RAFAELE, C., HILLSON, D., GRIMALDI, S.** *Understanding Project Risk Exposure Using the Two-Dimensional Risk Breakdown Matrix*. In: PMI Global Congress Proceedings, Edinburgh, 2005.
- RAHMANA, H.A., WANGA, C.; LEEA, Y.**, (2013), Design and Pilot Run of Fuzzy Synthetic Model (FSM) for Risk Evaluation in Civil Engineering. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, 217-238.
- RASOOLA, M., et al.**, (2012), Methodology and tools for risk evaluation in construction projects using Risk Breakdown Structure. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 6, 78-98.
- SAATY, T.L.** *Optimization in Integers and Related Extreme Problems*. New York: McGraw-Hill, 1970.
- TANG, X. et al.**, (2013), The Risk Evaluation Model of Mining Project Investment Based on Fuzzy Comprehensive Method. *Applied Mechanics and Materials*, 278-280, 2928-2934.
- TANG, Y.C., BEYNON, M.J.**(2005), Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study. *Journal of Economics and Management*, 1, 207-230.
- WANG, J. LI, Y.**, (2013), Research on EPC Project Risk Evaluation based on FAHP and TOPSIS. *Journal of Networks*, 8, 445-452.
- WANG, J.M., ZHOU, L.**, (2013), Risk Analysis on the Process of Energy Management Contract Project. In: Proceedings of the International Conference on Information Engineering and Applications (IEA, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 218, 831-837.
- WILLIS, H.H. et al.**, (2004), Ecological Risk Ranking: Development and Evaluation of a Method for Improving Public Participation in Environmental Decision Making. *Risk Analysis*, 24, 363-378.
- ZEGORDI, S.H., NIK, E.R., NAZAR, A.**, (2012), Power Plant Project Risk Assessment using a Fuzzy-ANP and Fuzzy-Topsis Method. *International Journal of Engineering*, 25, 107-120.
- ZENG, J., AN, M., SMITH, N.J.**, (2007), Application of a fuzzy based decision making methodology to construct project risk assessment”, *International Journal of Project Management*, 25, 589-600.
- ZHANG, S., SUN, B., WANG, C.**, (2013), Risk identification on hydropower project using the IAHP and extension of TOPSIS methods under interval-valued fuzzy environment. *Natural Hazards*, 65, 359-373.
- ZHUA, K.J., JINGA, Y.; CHANG, D.Y.** (1999), A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 116, 450-456.
- ZOU, Q., et al.**(2013), Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, 525-546.