A conexidade discente nas universidades brasileiras: estruturação e modelagem matemática a partir da Teoria dos Grafos

Marcos dos Santos
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
CASNAV - IME - UFF

Júlio César Tinôco Camarão Neto
julioctcneto@gmail.com
IME

Raphael Mendes de Oliveira
rmo.raphael.ime@gmail.com
IME

Marcone Freitas dos Reis
marconefreis11@gmail.com
UFF - CETIQT

Rubens Aguiar Walker
rubens.walker@gmail.com
UFF - UNIGRANRIO

Resumo:O arcabouço metodológico da Teoria dos Grafos possui inúmeras possibilidades de aplicação, sendo uma delas analisar a força da conexão entre pessoas. Dentro das universidades brasileiras, há a necessidade de conexão entre seus membros para que, de maneira sinérgica, os resultados alcançados sejam os melhores possíveis, por meio da geração de uma rede de conhecimento. Para o cálculo do número de alunos que devem interagir entre si, utilizou-se o número de discentes matriculados em cursos de engenharia nas três maiores universidades brasileiras, sendo estes dados retirados dos sites das próprias instituições. Ao garantir a conexão entre seus alunos, a universidade está mais propensa a resolver problemas reais da sociedade que demandam a integração de diversas áreas do conhecimento e gerar iniciativas de pesquisa que serão posteriormente levadas ao mercado como ideias de negócio de alto valor agregado.

Palavras Chave: Teoria dos Grafos - Universidades - Conexidade - Gestão de Pessoas - Sinergia

1. INTRODUÇÃO

No mundo moderno, surgem iniciativas para que a comunicação dentro de instituições e de grupos de indivíduos seja a mais fluida possível, passando pelo menor número possível de pontos de contato até que chegue em seu destinatário. A possibilidade de conectar pessoas é interessante para que o tempo desperdiçado na comunicação seja o menor possível e a criação de oportunidades com participação de diferentes áreas dentro de uma mesma organização seja maximizada.

As organizações mais burocráticas tendem a sofrer mais com essa falta de conexão entre as pessoas. Nesse aspecto surge a figura da universidade brasileira que historicamente é conhecida pela sua dificuldade em conectar todos os seus participantes. Para que a comunicação seja ainda mais efetiva é necessário que os integrantes da universidade não apenas se conheçam, mas saibam, por exemplo, em quais áreas do conhecimento certo pesquisador atua ou determinado estudante tem interesse.

A ideia de conectar mais fortemente pessoas é válida, mas é inviável que todas se conheçam profundamente e então vem o questionamento de quantas pessoas um indivíduo deve se conectar para que a comunicação seja produtiva. Essa quantidade seria utilizada para criação de programas mais eficientes que facilitem a interação entre os membros da universidade. Desse modo, a ideia de aplicar a teoria dos grafos parece adequada, já que cada membro da universidade pode ser tratado como um nó e as arestas seriam as comunicações ativas existentes entre as pessoas.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A conexão entre alunos, professores, funcionários e departamentos tem se mostrado crucial para que resultados positivos sejam alcançados nas universidades brasileiras. Essa é uma questão que permeia a universidade brasileira há bastante tempo. (Lobo, 1992) fala sobre a reforma do sistema universitário brasileiro na década de 1960 que impactou tanto positiva quanto negativamente essa conexão. Atualmente o Instituto de Ciências Biomédicas congrega os docentes e discentes de faculdades correlatas que se comunicam melhor, já que antes da reforma trabalhavam de forma separada e desarticulada. Como aspecto negativo é citado a não comunicação entre os professores oriundos de ciências básicas que ministram cadeiras em departamentos que preparam profissionais, porém não há foco em preparar aulas que sejam úteis aos profissionais que ingressarão no mercado de trabalho.

A falta de aplicação dos cursos de ciências básicas nos cursos que formam profissionais é um dos fatores que levam os estudantes brasileiros de engenharia a desistirem do curso. A grande dificuldade é fazer com que a matéria ministrada no ciclo básico tenha relação com a atividade exercida pelo profissional quando ele se formar e para que isso aconteça é essencial que o professor das ciências básicas esteja em constante comunicação com os professores que têm experiência profissional.

Infelizmente, nem sempre existem iniciativas dentro das universidades que incentivam essa interação, sendo esta dependente dos indivíduos e por esse motivo não há uma efetividade nessa conexão. Como no modelo atual de universidade brasileira, os departamentos são responsáveis pelas atividades de ensino, pesquisa e extensão não há a necessidade que os docentes interajam com membros de outros departamentos, o que é prejudicial não só para a faculdade que perde soluções mais complexas que abranjam diversas áreas de conhecimento, como também para os próprios professores.

Muitos das questões que são estudadas na academia atualmente requerem conexão entre pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento. Além disso, com a crise econômica pela qual o Brasil vem passando, alguns gastos no ensino superior foram contingenciados, demandando soluções alternativas e criativas para o financiamento das pesquisas. Assim, a questão da conexão entre diversos entes das universidades brasileiras é essencial para que o ensino superior atinja um patamar de excelência a nível internacional. Na Figura 1, procurou-se mostrar como a conexão entre os mais variados participantes do meio acadêmico é essencial para que diversos aspectos que são considerados essenciais nas universidades brasileiras.

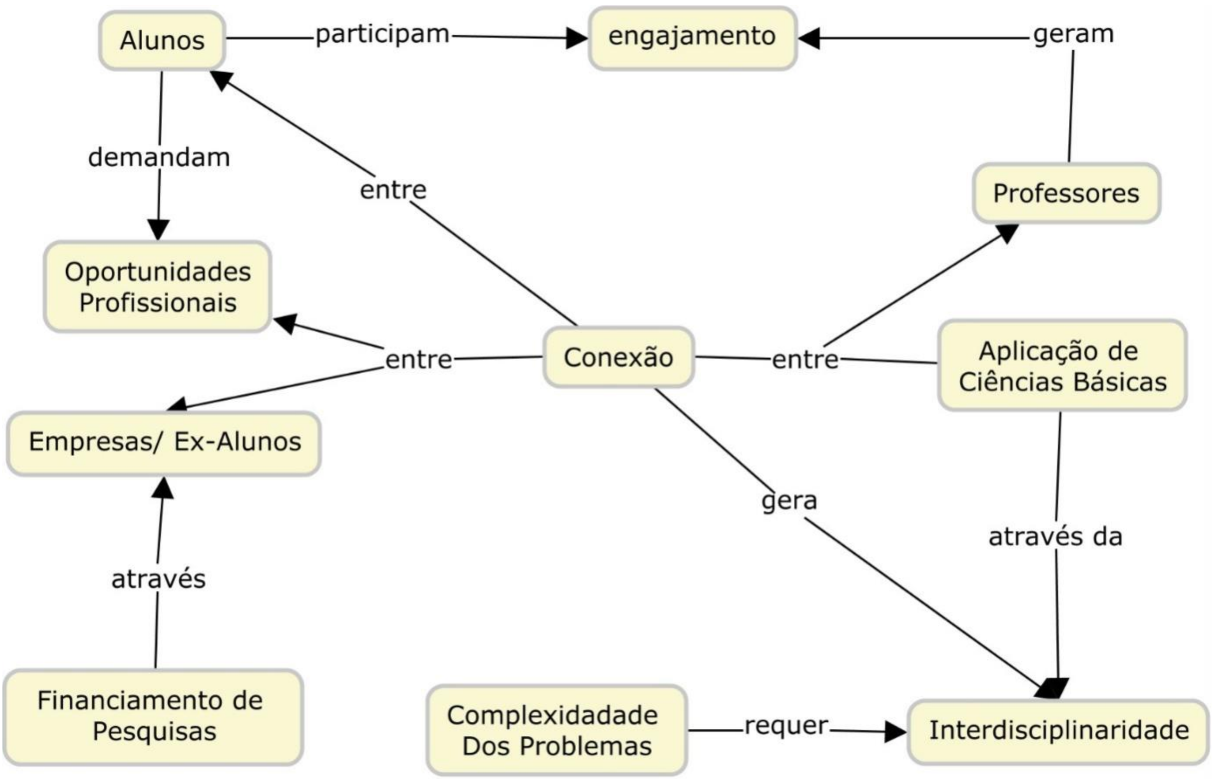

Figura 1: Condições de contorno do problema.
Fonte: (Autores 2018)

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Santos *et al.* (2015), afirmam que a Pesquisa Operacional (PO) lança mão de modelos matemáticos e/ou lógicos, a fim de resolver problemas reais, apresentando um caráter eminentemente multidisciplinar.

Santos *et al.* (2016), apontam que a PO atua em cinco grandes áreas que se inter-relacionam, conforme apresentado na Figura 2, indo ao encontro do estudo ora desenvolvido.

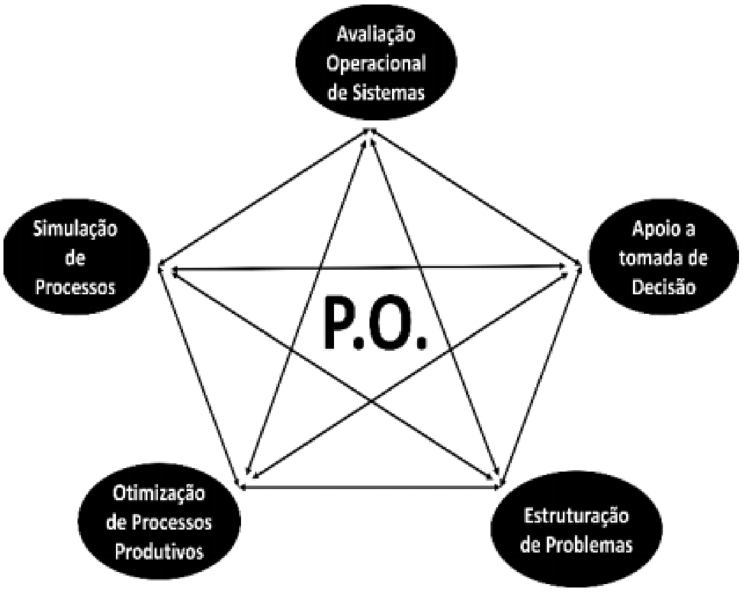

Figura 2: Áreas de atuação da PO.
Fonte: (Santos *et al* 2016)

A Teoria de Grafos, muito acelerada e desenvolvida por Paul Erdös, hoje é amplamente utilizada na modelagem dos mais diversos problemas. Bondy e Murty (1976) citam algumas das inúmeras aplicações que já naquela época existiam para a Teoria dos Grafos. Atualmente, tal teoria dos é utilizada até para o estudo do mal de Alzheimer, pois Tijms *et al.* (2013), utilizaram as suas propriedades para determinar como os neurônios se relacionavam.

3.1. A CONEXÃO NO CONTEXTO UNIVERSITÁRIO

Para Arbix e Consoni (2012), é essencial que nas universidades inseridas no contexto moderno existam redes locais, nacionais e internacionais para que as novas áreas de conhecimentos e as antigas consigam interagir com maior facilidade potencializando os resultados da pesquisa e docência.

Segundo Boaventura *et al.* (2014), aplicando a Teoria dos Grafos para análise de publicações das universidades brasileiras é possível perceber uma relação entre a conexão de docentes e indicadores de qualidade das publicações científicas, enquanto que Xavier, Steil e Mena-Chalco (2017), utilizaram o conceito de grafos para explicitar como as matérias do curso de ciência e tecnologia se interconectam promovendo a interdisciplinaridade.

Já para Nicolaou e Birley (2002), a utilização do estudo de redes explica como algumas universidades conseguem gerar mais empresas que são derivadas de pesquisas do que outras. Incentivar que essas redes frutifiquem é essencial para o desenvolvimento de tais empreitadas.

3.2. GRAFO

Formalmente, um grafo é representado por $G = (V, E)$, onde V é um conjunto vértices e E é um conjunto de pares não ordenados de elementos de V, ou seja, $E \subseteq [V]^2$ (DIESTEL, 2000). Diz-se que um grafo é conexo quando a partir de um vértice qualquer, consegue-se chegar a qualquer outro, ou seja, há um caminho ligando dois pontos quaisquer do grafo. Um grafo $G = G_{n,p}$ é dito aleatório (modelo de Erdös-Rényi), quando possui n vértices e cada aresta tem probabilidade p de existir, independentemente (BOLLOBÁS, 1998).

3.3. VARIÁVEL ALEATÓRIA

Uma variável aleatória é uma função mensurável de um espaço de probabilidade $(\mathrm{S}, \mathbb{S}, \mathrm{P})$, em um espaço métrico $(S', \mathbb{S}')$, onde $(\mathrm{S}, \mathbb{S})$ também é um espaço métrico e P é uma medida em $\mathbb{S}$ tal que $\mathrm{P}(\mathrm{S}) = 1$ (DOOB, 1996). Uma variável aleatória é uma variável que não se seu valor numérico, mas que pode assumir qualquer valor de um espaço amostral, com determinada distribuição de probabilidade.

3.4. ESPERANÇA DE UMA VARIÁVEL ALEATÓRIA

Nessa pesquisa, são utilizadas apenas variáveis aleatórias discretas e que só assumem valores inteiros não negativos, de forma que se possa utilizar a seguinte definição para a esperança de uma variável aleatória:

$$\mathbb{E}[X] = \sum_{i=0}^{\infty} i.\,\mathbb{P}(X = i)$$

Assim, a esperança é a média dos valores que X pode assumir, ponderada pela probabilidade de assumir cada valor (MAGALHÃES, 2006).

3.5. DESIGUALDADE DE MARKOV

Para qualquer variável aleatória discreta X que assume valores inteiros não negativos e qualquer inteiro positivo a, tem-se que:

$$\frac{\mathbb{E}[X]}{a} \geq \mathbb{P}(X \geq a)$$

Demonstração, segundo (KARLIN, 2012):

$$\frac{\mathbb{E}[X]}{a} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{i}{a}.\,\mathbb{P}(X = i) = \sum_{i=0}^{a-1} \frac{i}{a}.\,\mathbb{P}(X = i) + \sum_{i=a}^{\infty} \frac{i}{a}.\,\mathbb{P}(X = i) \geq \mathbb{P}(X \geq a)$$

4. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Dada a problemática de falta de conexão dos integrantes da universidade e tendo como suporte a teoria dos grafos, procura-se responder quantas interações são necessárias para que os grafos sejam conexos. Após a descoberta desse valor, será proposto uma iniciativa para as universidades utilizarem esses dados.

4.1. MODELAGEM MATEMÁTICA

$$Se\ p = \frac{(1+\varepsilon)\log n}{n},\ então\ \mathbb{P}\big(G_{n,p}\ \text{é}\ conexo\big) \to 1\ quando\ n \to +\infty\ e\ \varepsilon > 0$$

Considere a família de variáveis aleatórias $\{\mathrm{Y_k}\}_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{n}}$, onde $\mathrm{Y_k}$ é o número de componentes conexas de $\mathrm{G_{n,p}}$ com k vértices.

Dessa forma

$$\mathbb{E}[Y_k] \leq \binom{n}{k}(1-p)^{k(n-k)}$$

Quando $k \leq \varepsilon n$, tem-se $\mathbb{E}[Y_k] \leq \left(\frac{en}{k}\, e^{-(1-\varepsilon)pn}\right)^k$ e, caso $k \leq \varepsilon n$, tem-se $\mathbb{E}[Y_k] \leq 2^n e^{-\frac{\varepsilon n^2}{2}}$.

Observa-se que para um grafo não conexo deve-se ter uma componente conexa menor que $\frac{n}{2}$. Caso contrário, pelo princípio das Casas de Pombo, o grafo será conexo.

Usando Markov, vem:

$$\mathbb{P}\big(G_{n,p}\ não\ é\ conexo\big) = \big(1 - \mathbb{P}\big(G_{n,p}\ \ é\ conexo\big)\,\big)$$

$$\mathbb{P}\big(G_{n,p}\ não\ é\ conexo\big) \leq \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \mathbb{P}(Y_k) \leq \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \mathbb{E}(Y_k) \leq,,$$

$$\leq \sum_{i=1}^{\varepsilon n}\left(\frac{en}{k}\, e^{-(1-\varepsilon)pn}\right)^k + \sum_{i=\varepsilon n}^{\frac{n}{2}} 2^n e^{-\frac{\varepsilon n^2}{2}} \leq \sum_{i=1}^{+\infty}\left(\frac{e}{k}\, n^{-\varepsilon}\right)^k + e^{-\frac{\varepsilon n^2}{3}} \rightarrow 0$$

quando $n \rightarrow +\infty$, como queríamos demonstrar.

Ou seja, quando se trabalha com um volume grande de n pessoas, onde cada uma se conecta com aproximadamente $(1+\varepsilon)$ log n outras pessoas de forma aleatória, sendo $\varepsilon > 0$, então a probabilidade de cada pessoa conseguir interagir com qualquer outra pessoa dessa rede é muita próxima de 1, ou seja a rede é conexa. Vista a importância de uma maior integração entre alunos dentro do contexto universitário, a solução proposta tem como estratégia aumentar, para cada estudante, o número de pessoas com quem ela já trabalhou. Considerando como cada vértice da aresta sendo um aluno de engenharia e cada aresta como uma conexão criada com outro aluno por terem realizado pelo menos um trabalho juntos. Para isso adotou-se duas medidas para que se tenha uma margem de segurança na solução: 1,3*log(Alunos) e 2*log(Alunos) garantindo que o grafo dos alunos de engenharia matriculados em determinas universidades seja conexo.

Os resultados da Tabela 1 fornecem a resposta para a pergunta de quantos alunos um aluno deve trabalhar para que o grafo seja conexo. As universidades devem então criar projetos que escolham grupos de alunos aleatórios para que um único aluno tenha contato com esse número apresentado.

Instituição	Qtde Alunos	1,3*log(N)	2*log(N)
Poli USP	4964	11,06	17,02
IME	450	8,08	12,43
EESC	2564	10,20	15,70

Tabela 1: Número de conexões para que o grafo seja conexo.
Fonte: (Autores 2018)

Só foram considerados os alunos matriculados em cursos de engenharia nas respectivas instituições e todos os dados foram retirados dos sites das instituições, excetuando o do número de alunos do IME que foi considerado como sendo o número de matriculados menos uma taxa de evasão histórica de 10%.

Como essas conexões só podem ser números inteiros, é necessário que se faça uma aproximação. Porém, devido ao coeficiente de segurança, não será perdida a confiabilidade dos resultados, se em alguns casos considerar-se uma aproximação para o primeiro inteiro menor que o valor apresentado.

Segundo Sutherland (2014), o tamanho ideal de grupos de trabalho é de três a nove pessoas. Considerando como tamanho médio um grupo cinco pessoas, o universitário teria ao realizar um projeto desse tipo, contato com mais quatro universitários. Como a ideia é que os grupos sejam aleatórios, não seriam permitidos que duas pessoas participassem dos mesmos projetos mais que uma vez, garantindo assim que o contato será sempre com universitários diferentes.

Conforme os dados apresentados na Tabela 2, a solução para aumentar a conexão dentro das universidades seria a criação de um programa para realização de projetos com duração de seis meses por grupos de cinco estudantes de engenharia escolhidos aleatoriamente e que não devem participar por mais de uma vez com colegas que já tenham realizado projetos conjuntamente durante a faculdade.

Instituição	1,3*log(N)	Grupos	2*log(N)	Grupos
Poli USP	11	3	17	5
IME	8	2	13	4
EESC- São Carlos	10	3	16	4

Tabela 2: Número de grupos para que os números de conexões sejam atendidos.
Fonte: [Autores 2018]

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Atualmente, a maioria das faculdades de engenharia demandam cinco anos para sua conclusão, divididos em períodos semestrais no total de dez. Considerando que dois desses períodos são reservados para intercâmbio ou para estágio, restam oito períodos para realização de projetos conjuntos entre estudantes aleatórios. Tempo suficiente para realização de até oito projetos, sendo que o maior número de projetos proposto foi o para caso da instituição USP com coeficiente de segurança igual a dois, ou seja, em todos os casos propostos o fator tempo não é impeditivo para a implementação desse programa.

Em todas as universidades usadas no modelo, existem diferentes cursos de engenharia. Como um dos fatores de resolução de problemas complexos é a junção de diferentes áreas de conhecimento, é essencial que nesses grupos de projeto existam graduandos de diferentes engenharias para que os resultados sejam os melhores possíveis.

Uma das dificuldades encontradas para a adoção do modelo apresentado seria o aumento da carga horária do curso devido à necessidade de até mais cinco projetos durante a graduação. Porém existem algumas medidas que podem ser tomadas em relação a isso: utilização de atividades extracurriculares, como Empresa Júnior; equipes de competição e atléticas; incentivo para que os trabalhos de conclusão de curso (TCC) sejam desenvolvidos por grupos de diferentes engenharias e trabalhos de iniciação científica com participantes de diferentes períodos e engenharias. Com essas iniciativas simples, as universidades podem gerar muito mais conexão entre seus participantes.

Analisando esses aspectos, a solução parece viável, principalmente em sua versão com número de conexões igual 1,3*log(n), já que demandaria no máximo três semestres da vida universitária dos alunos. O único ponto de ressalva é que a universidade teria que escolher de forma centralizada esses grupos, atentando para as condições de contornos já apresentadas. Isso poderia demandar um esforço e uma base de dados atualizada, o que infelizmente não é realidade para todas as universidades brasileiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a coleta de dados e discussão dos resultados foi percebido que integrar os programas já existentes ao que foi proposto é algo viável, mas que demanda esforço da universidade. Fazer a universidade entender que esse esforço é válido e impactará positivamente nas suas atividades é o principal desafio. Para que isso ocorra, uma das soluções seria a aplicação numa amostra controlada de alunos para que consiga mensurar os resultados do programa.

Porém, mesmo que aplicada, a solução proposta restringe-se ao corpo discente da academia e para que os resultados alcançados sejam ainda melhores, o mais indicado seria que a solução fosse ampliada para o corpo docente, as empresas parceiras e os ex-alunos. Todos os participantes do meio universitário integrados como um grafo conexo seria o ideal para que a conexão fosse a melhor possível.

7. REFERÊNCIAS

ARBIX, G.; CONSONI, F. Inovar para Transformar a Universidade Brasileira. Revista brasileira de Ciências Sociais, São Paulo. v.26, n.77 Oct. 2011.

BOAVENTURA, M.; BOSON, K.; DA SILVA, A. P. C.; VELOSO, A.; MEIRA JR, W. Caracterização Temporal das Redes de Colaboração Científica nas Universidades Brasileiras: Anos 2000-2013. Departamento de Ciência da Computação e Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2014. Disponível em < http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/brasnam/2014/006.pdf>. Acesso em 08 Nov. 2017.

BOLLOBÁS, B. Modern Graph Theory. New York. Springer Science & Business Media, 1998. 394 p.

BONDY, J. A.; MURTY, U. S. R. Graph Theory with Applications. 5ª Edição. New York. Elsevier Science Publishing, 1982. 655 p.

DIESTEL, R. Graph Teory. 2ª Edição. New York. Springer-Verlag. 312 p. 2000.

DOOB, J. L. The Development of in Mathematical Probability (1900-1950). The American Mathematical Monthly., v. 103, n. 7, p. 586-595, Ago-Set 1996.

KARLIN, A. Discussion Section Number Five. University of Washington. Seatltle. 2012. Disponível em <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse312/12sp/section/section_5.pdf>. Acesso em 07 Nov. 2017.

LOBO, R. Lições e Problemas da Universidade: Depoimento. São Paulo. Estudos avançados vol.6 no.15. Maio/Ago 1992.

MAGALHAES, M. N. Probabilidade e Variáveis aleatórias. 3ª Edição. EDUSP. 428 p. 2006.

MORRIS, R.; OLIVEIRA, R. I. Extremal and probabilistic combinatorics. In Anais do Colóquio Brasileiro de Matemática (SBM/IMPA), Rio de Janeiro, 2009.

NICOLAOU, N.; BERLEY, S. Academic networks in a trichotomous categorisation of university spinouts. The Management School, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres. 2002.

SANTOS, M.; SILVA, A. M. T.; LIMA, I. C.; DIAS, F. C.; MARTINS, E. R. Application of AHP Method in the formation of a Performance Indicator for Operational Level Professionals. International Journal of Development Research, v. 06, issue 12, p. 10610- 10615, 2016.

SANTOS, M.; QUINTAL, R. S.; PAIXÃO, A. C.; GOMES, C. F. S. Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-hospital Care in Rio de Janeiro Municipality. Elsevier - Procedia Computer Science, v. 55, p. 931-938, 2015. DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.111.

SUTHERLAND, J. S. A arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo. Lua de Papel. 240 p. 2016.

TIJMS, B. M.; WINK, A. M.; HAAN, W.; VAN DER FLIER, W. M.; STAM, C. J.; SCHELTENS, P.; BARKHOF, F. Alzheimer's disease: connecting findings from graph theoretical studies of brain networks. Alzheimer Center, Departamento de Neurologia, Departamento de Radiologia, Departamento de Epidemiologia e Bioestatística, Departamento de Fisiologia Clínica e MEG, VU University Medical Center, Amsterdam. 2013.

Universidade de São Paulo. A EESC em números. Disponível em <http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=520>. Acesso em 08 Nov. 2017.

Universidade de São Paulo. Poli em Números. Disponível em < http://www.poli.usp.br/pt/a-poli/poli-em-numeros.html>. Acesso em 08 Nov. 2017.

XAVIER, A. M.; STEIL, L. J.; MENA-CHALCO, J. P. (Inter)disciplinaridade e transversalidades: o projeto de formação superior da Universidade Federal do ABC. Universidade Federal do ABC. Ciência e Educação. Bauru. v.23 n.2 Apr./June 2017.