



Strategic Decision Making in the 3D Printing Industry: A Robust Decision Making (RDM) Analysis
Pedro Nascimento de Lima, Daniel Pacheco Lacerda, Maria I. W. M. Morandi

2



Incerteza no Contexto da Impressão 3D

Indícios “Positivos”

- Indústria da Impressão 3D cresceu à uma **taxa anual de 26,2 %** ao ano;
- Tem o potencial de **reconfigurar cadeias de suprimentos**, reduzir **tempo de desenvolvimento** de produtos e permitir a manufatura de **componentes alta complexidade**.

Indícios “Negativos”

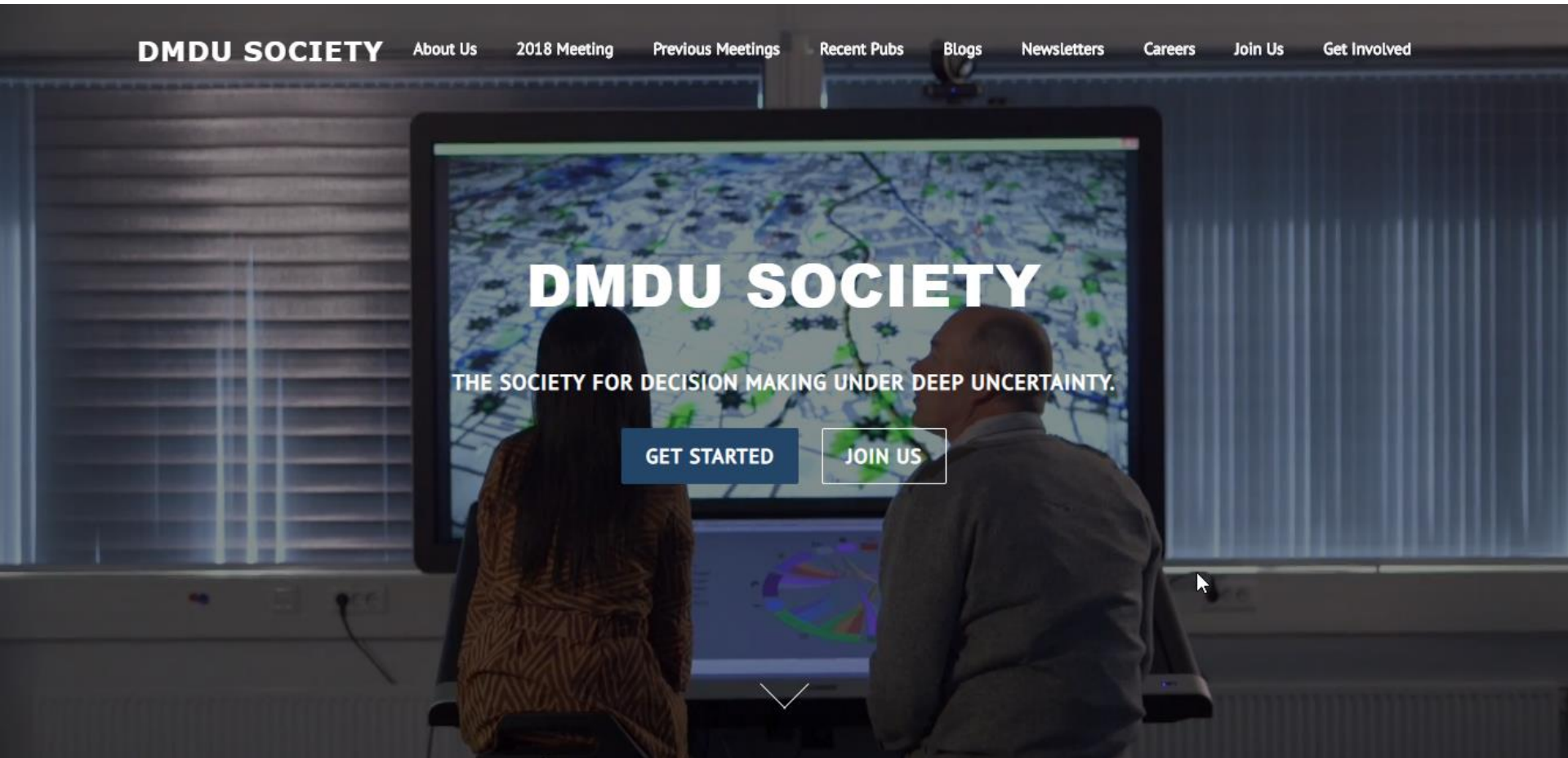
- Estimativas sobre o impacto econômico da manufatura aditiva variam entre **21 bilhões** de USD em 2020 a **550 bilhões** em 2025;
- Houve uma **bolha financeira** da impressão 3D em 2014, ações de empresas caíram mais do que 70%;
- **Lucratividade** dos Fabricantes de Sistemas de Impressão 3D caiu entre 2011 e 2015 para **patamares negativos**.

Decisões Estratégicas sob Incerteza

- A empresa deve considerar o **ambiente interno e externo** para suportar suas decisões estratégicas, mas...
- O mundo é **dinâmico**, e a empresa precisa **se antecipar** à eventos futuros;
- Decisões relacionadas à difusão de novos produtos são especialmente **vulneráveis**;
- Quando há informação suficiente para estimar modelos de previsão com precisão, **é tarde para tomar decisões.**



Existem Novas Alternativas



<http://deepuncertainty.org>

5

GMAP | UNISINOS

Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem

www.gmap.unisinos.br



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

Incerteza Profunda

Deep Uncertainty (“Incerteza Profunda”)

*“Situações nas quais as partes de uma decisão não conhecem ou não concordam sobre (i) **os modelos apropriados** para descrever as interações entre as variáveis de um sistema; (ii) **as distribuições de probabilidade** que representam a incerteza sobre parâmetros chave do modelo, e/ou; (iii) **como valorizar a utilidade** de diferentes resultados.”*

(LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Gaps de Pesquisa

- **Avaliação de Decisões Estratégicas no Contexto Empresarial:** Ignora o RDM para suporte à decisão sob incerteza. Este trabalho explora o potencial do RDM para avaliação de decisões sob incerteza.
- **Difusão de Novos Produtos:** Utiliza modelos para representar a evolução da demanda, porém seu uso para fins preditivos é limitado pela ausência de dados.

Fontes de Incerteza no Contexto da Difusão de Novos Produtos

- Demanda:
 - Tamanho do mercado potencial;
 - Resposta dos clientes à Precificação;
 - Velocidade de Difusão do Novo Produto;
- Oferta:
 - Planos de expansão dos concorrentes;
 - Resposta dos concorrentes às decisões da empresa.

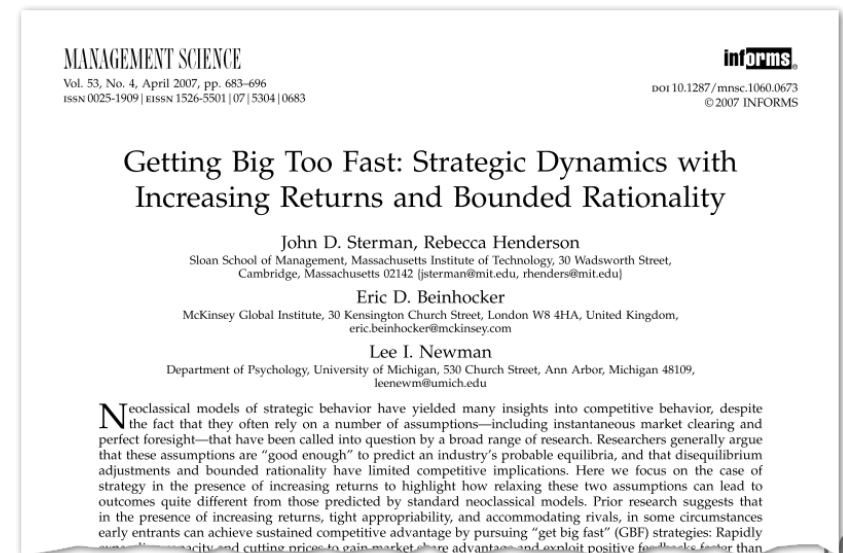
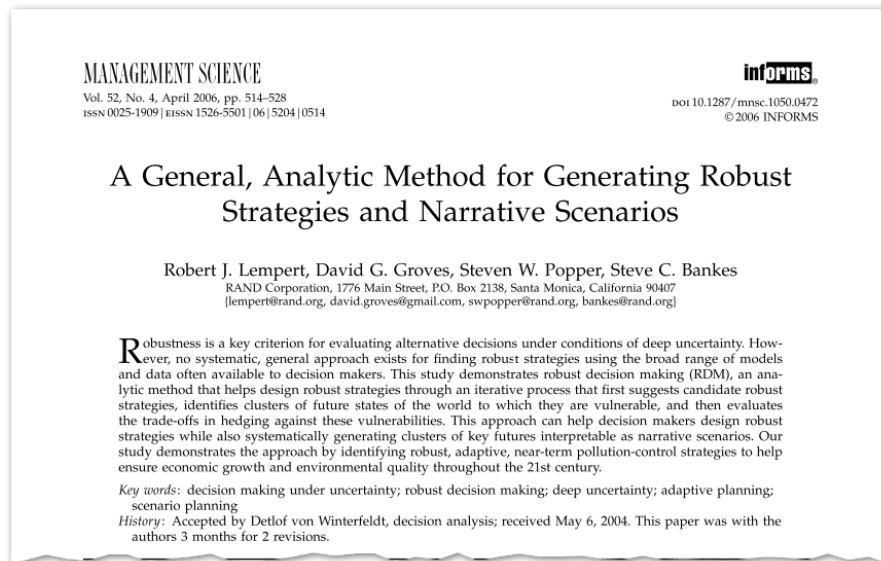
Questão de Pesquisa

“Que estratégias que suportam a difusão de novos produtos na indústria da manufatura aditiva **são mais robustas, e em que condições** estas estratégias robustas falham?”

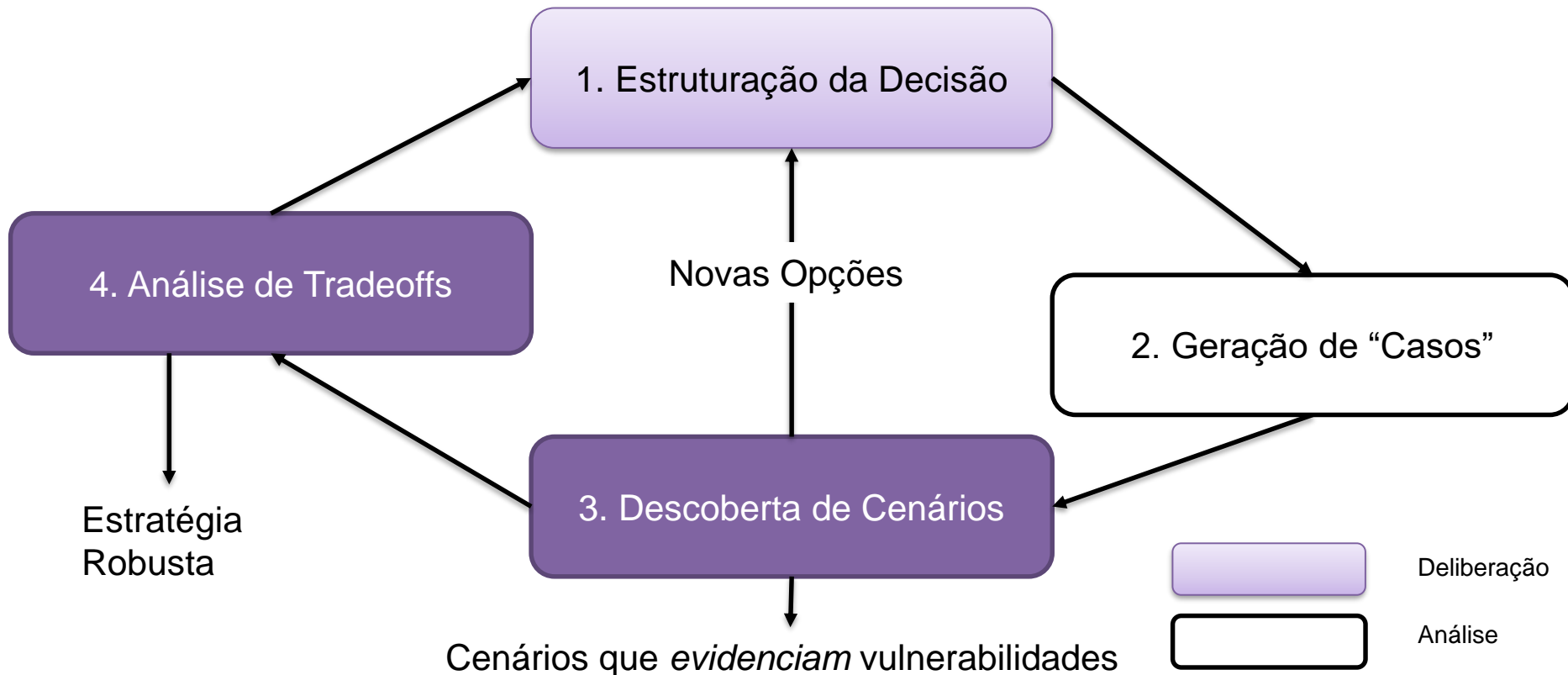


2. Fundamentação Teórica

1. Avaliação de Decisões Estratégicas e Incerteza Profunda.
2. Modelos de Difusão de Novos Produtos. Principal Referência: Sterman (2007)
3. RDM – Robust Decision Making. Principal Referência: Lempert et. al (2006)



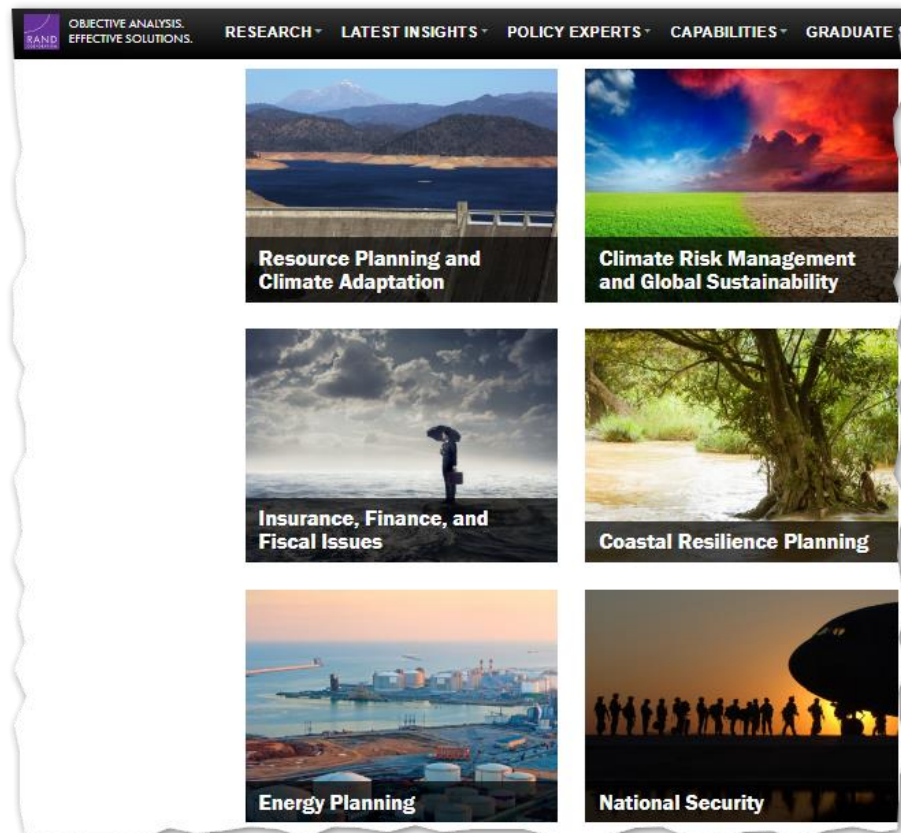
RDM - Robust Decision Making



Rand. (2013). Making Good Decisions Without Predictions. *RAND Corporation Research Highlights*, 1–7. Retrieved from http://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9701/index1.html?utm_campaign=rand_socialflow_twitter&utm_source=rand_socialflow_twitter&utm_medium=socialflow

RDM – Áreas de Aplicação

- *Ter ou não ter um seguro nacional contra ataques terroristas?* (TRIA) (Dixon 2007);
- Que estratégia de expansão da capacidade energética é robusta para Israel? (Popper 2009)
- *Como tornar uma cidade do Vietnam Robusta contra enchentes?* (Lempert 2013);
- Como melhorar a Resiliência da Infraestrutura Africana (Energia e Água) à mudanças climáticas? (Cervigni 2013);
- Em que Tecnologias de Armamento o Exército americano deveria Investir? (Lempert 2016)
- Permitir a circulação de carros autônomos é uma estratégia robusta? (Kalra e Groves 2017)



<https://www.rand.org/methods/rdmlab.html>

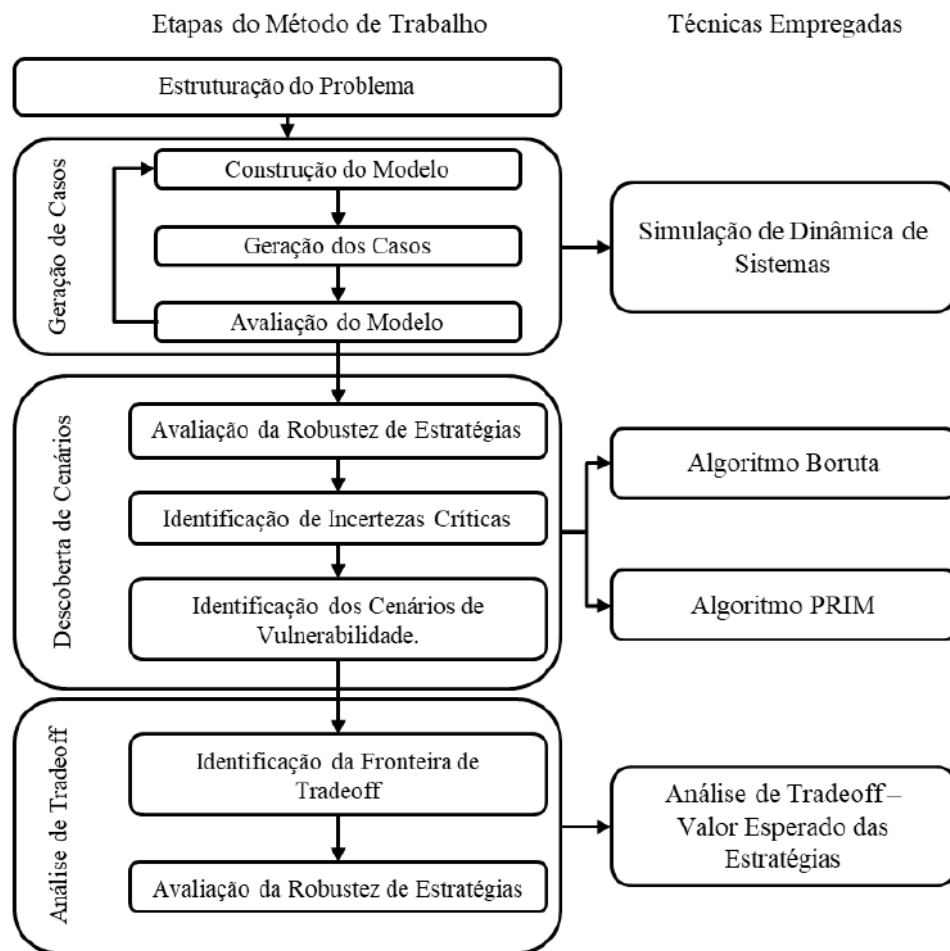
12

Procedimentos Metodológicos

- Método de Pesquisa: Modelagem e Simulação Computacional.
- Classificação de Bertrand e Fransoo (2002):
 - **Pesquisa Axiomática** (e não empírica): produz conhecimento de certas variáveis do modelo baseadas em pressupostos sobre outras variáveis do modelo.
 - **Pesquisa Normativa** (e não descritiva): o interesse é comparar diversas estratégias para solucionar um problema específico.



Método de Trabalho



Modelo de Dinâmica Competitiva

- Modelo de Sterman et al. (2007) foi utilizado como ponto de partida;
- Modificações foram realizadas para permitir que o modelo:
 - Considerasse a **performance dos produtos**;
 - Considerasse mais do que dois players do mercado;
 - Considerasse a dinâmica de emissão de patentes.

$$A_t = A_{t_0} + \int_{t_0}^t MAX \left(0, N \left(\alpha + \beta \frac{A}{POP} \right) \right)$$

$$A^* = MIN \left(POP, POP^r * MAX \left(0, 1 + \frac{\sigma(P^{min} - P^r)}{POP^r} \right) \right)$$

$$Y_i = exp \left(\varepsilon_p \frac{P_i}{P^r} \right) * exp(\varepsilon_a * \tau_i / \tau^r) * exp \left(\varepsilon_x \frac{X^r}{X_i} \right)$$

$$s_i^* = \begin{cases} MAX(s_i^{min}, s_i^u), & \text{if } Str_i = \text{Agress.} \\ MIN(s_i^{max}, s_i^u), & \text{if } Str_i = \text{Conserv.} \end{cases}$$

$$P_i^* = MAX \left[u_i^v, P_i \left(1 + \alpha^c \left(\frac{P_i^c}{P_i} - 1 \right) \right) \left(1 + \alpha^d \left(\frac{Q_i^*}{u_i^* K_i} - 1 \right) \right) (1 + \alpha^s (s_i^* - s_i)) \right]$$

$$dT^o/dt = \sum_i [\kappa_i * (1 - \psi) * T_i^r / v^a] - T^o / v^e$$

...



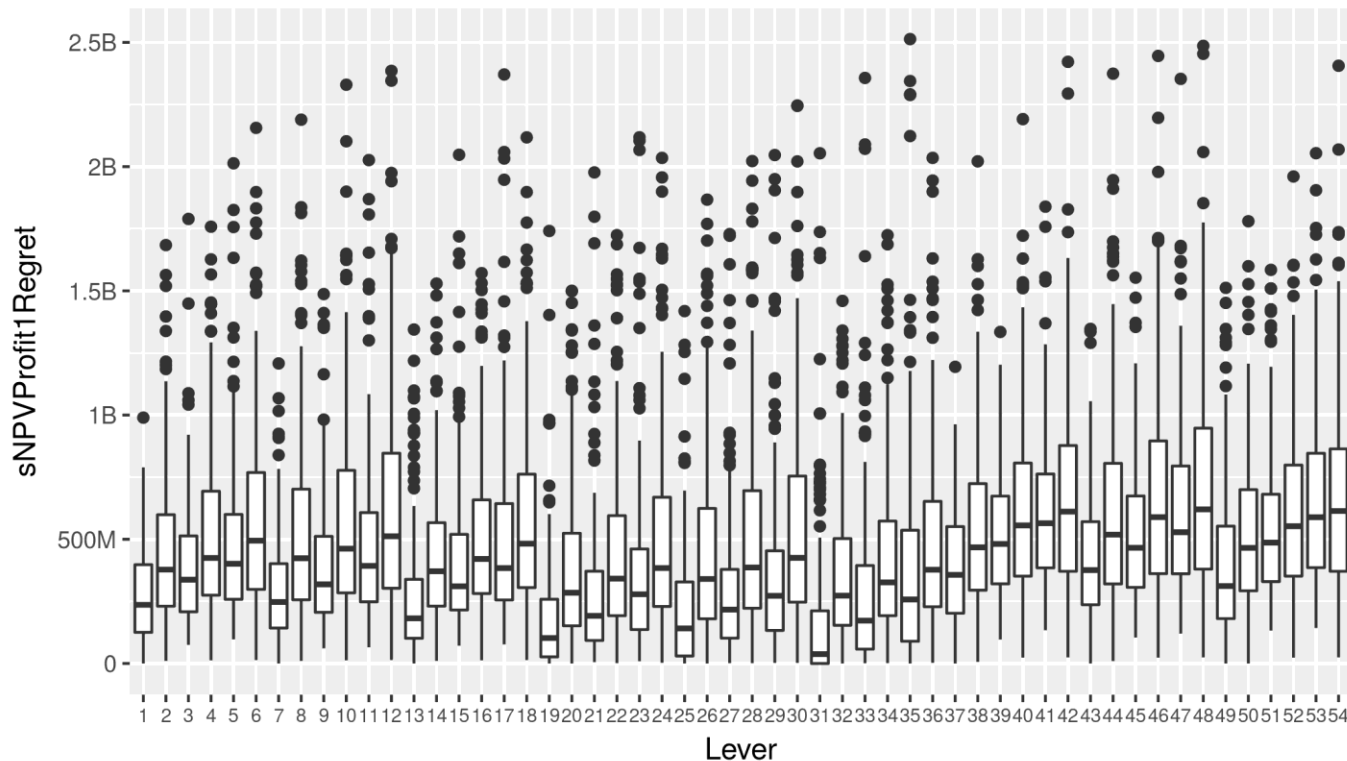
Simulação de Estratégias

- Decisões Simuladas para um Fabricante de Impressoras 3D profissionais:

Variável	Decisão Estratégica	Níveis Testados
Str_i	Apropriação do Market Share (Estr. Mkt. Share)	Agressiva (1) Conservadora (2)
S_i^{max}, S_i^{min}	Market Share Desejado (Mkt. Des.) Para a estratégia conservadora, S_i^{max} Para a estratégia agressiva, S_i^{min}	20% 30% 40%
η_i	% da Receita Dedicado a Pesquisa e Desenvolvimento (Orc. P&D)	5% 10% 15%
κ_i	% Orçamento de P&D dedicado a Patentes Open Source (Perc. P&D Ab.)	0% 50% 90%

Avaliação de Robustez das Estratégias

- Custo de Oportunidade das 54 estratégias simuladas (quanto menor, melhor):
 - Estratégias agressivas foram, em geral, mais robustas.



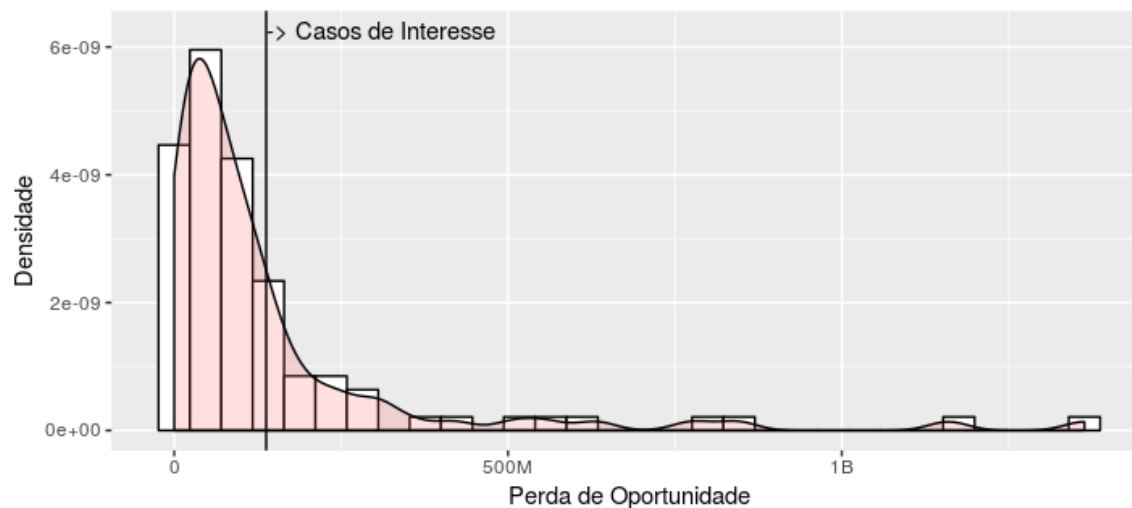
Avaliação de Robustez das Estratégias

- Estratégias Agressivas Dominaram Estratégias Conservadoras;
- Não há suporte para publicação de patentes open source;
- Primeiras estratégias do ranking investem *menos* em P&D.
- Estratégia 31 identificada como a mais robusta dentre as testadas.

#	Estratégia	Decisões				CO Perc 75%	CO % Perc 75%
		Estr. CAP	Perc. P&D Ab.	Mkt Des.	Orc. P&D		
1	31	AGR	0%	40%	5%	\$211.920.013	32,41%
2	19	AGR	0%	30%	5%	\$258.564.861	25,41%
3	25	AGR	0%	20%	5%	\$328.221.015	37,79%
4	13	AGR	0%	40%	10%	\$338.723.235	39,13%
5	21	AGR	50%	30%	5%	\$371.287.014	37,63%
6	27	AGR	50%	20%	5%	\$378.755.033	47,23%
7	33	AGR	50%	40%	5%	\$394.291.939	51,24%
8	1	AGR	0%	30%	10%	\$397.669.159	40,21%
9	7	AGR	0%	20%	10%	\$401.770.486	49,69%
10	30	CON	0%	20%	5%	\$734.334.332	88,10%
41	18	CON	90%	40%	10%	\$761.918.524	82,30%
42	41	AGR	90%	30%	15%	\$762.670.284	79,22%
43	6	CON	90%	30%	10%	\$768.576.893	84,78%
44	10	CON	50%	20%	10%	\$777.519.137	85,03%
45	47	AGR	90%	20%	15%	\$795.049.983	86,22%
46	52	CON	50%	40%	15%	\$798.592.893	90,82%
47	44	CON	0%	20%	15%	\$805.859.927	93,25%
48	40	CON	50%	30%	15%	\$806.799.092	91,05%
49	53	AGR	90%	40%	15%	\$846.136.461	100,00%
50	12	CON	90%	20%	10%	\$846.287.996	91,04%
51	54	CON	90%	40%	15%	\$863.780.237	96,36%
52	42	CON	90%	30%	15%	\$877.290.790	96,46%
53	46	CON	50%	20%	15%	\$895.893.334	97,33%
54	48	CON	90%	20%	15%	\$947.271.829	100,00%

Descoberta de Cenários

- O modelo empregado contém 35 variáveis incertas;
- Em que condições a estratégia 31 falha?
- Algoritmos Empregados:
 - Boruta: Algoritmo Baseado em Random Forests. Utiliza uma Random Forest para determinar que variáveis são mais relevantes para a predição de um problema de classificação;
 - PRIM: Obtém regiões de um espaço multi-dimensional que com alta concentração de casos de interesse.

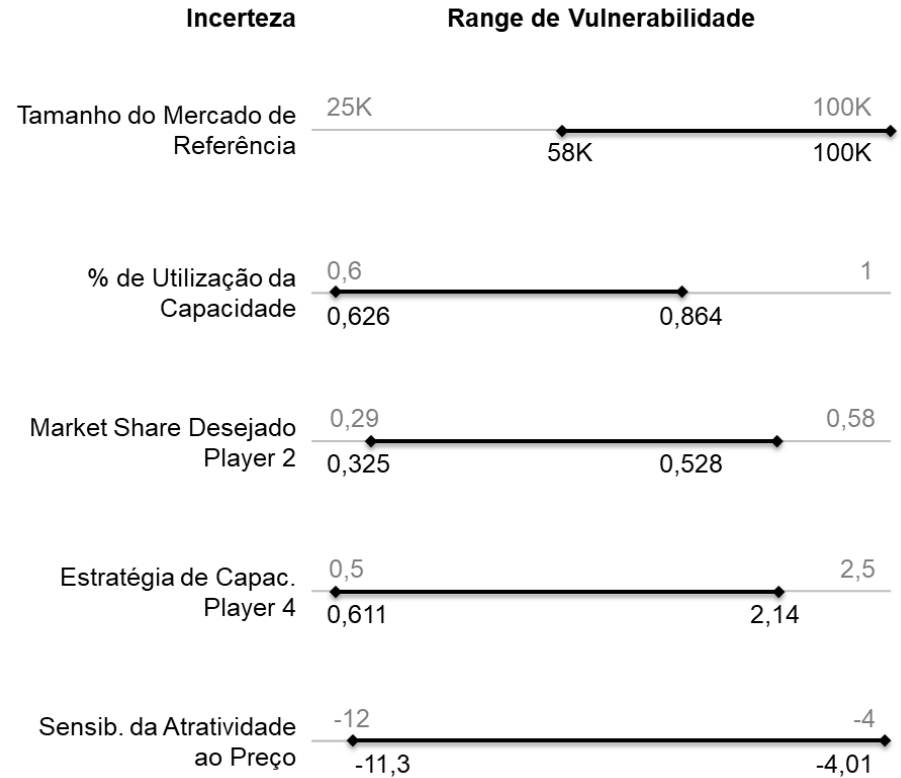


Resultados do Algoritmo PRIM

(Patient Rule Induction Method)

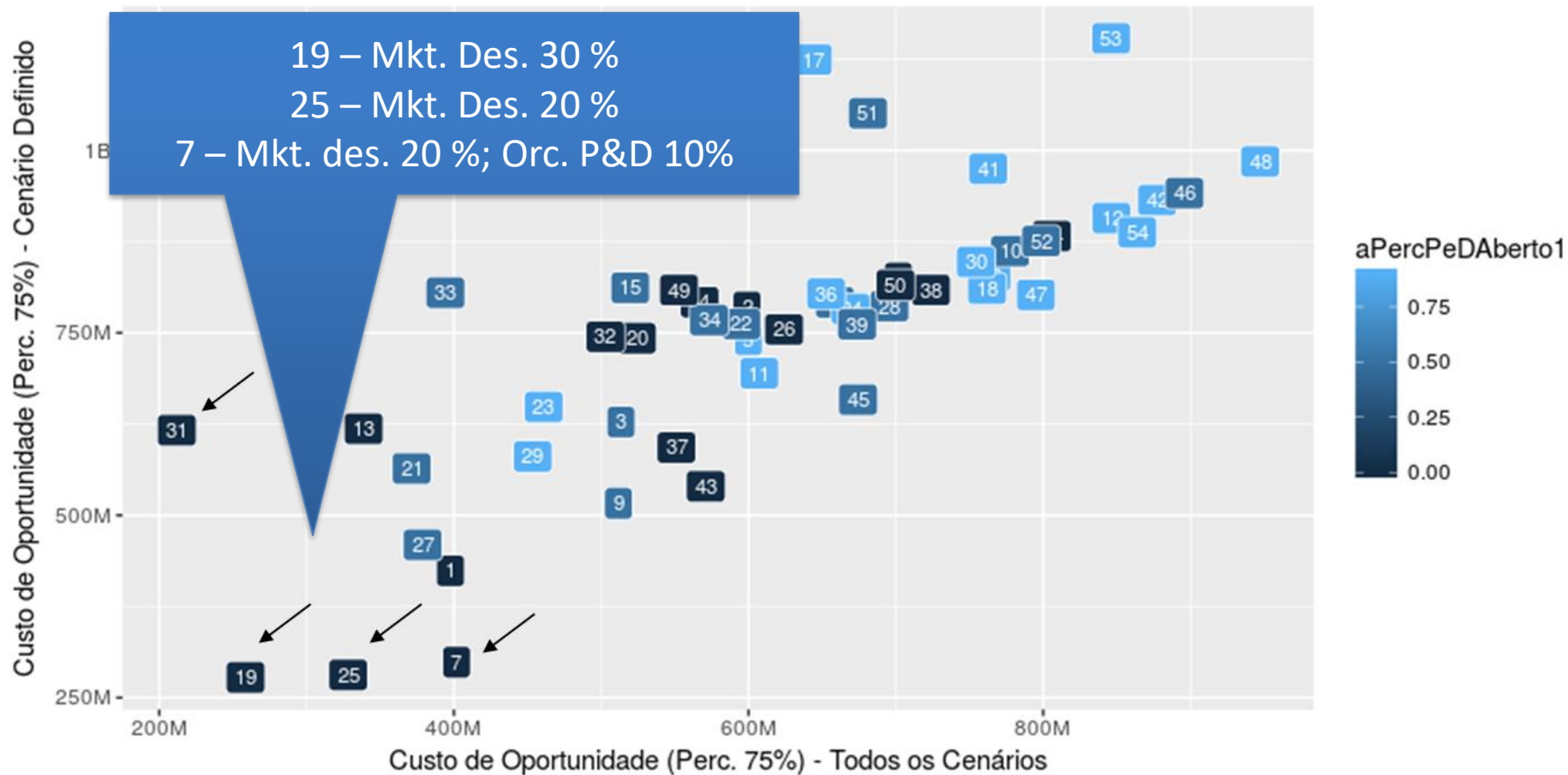
- Identificou uma região de vulnerabilidade na qual a **estratégia 31 falha 82,1 % das vezes**, quando:
- Os players de porte semelhante possuem estratégias agressivas;
- Tamanho do Mercado é maior do que 60 mil compradores.
- Eficiência em utilização da capacidade é baixa.

Resultados do Algoritmo PRIM
Definição de Condições onde a Estratégia 31 falha

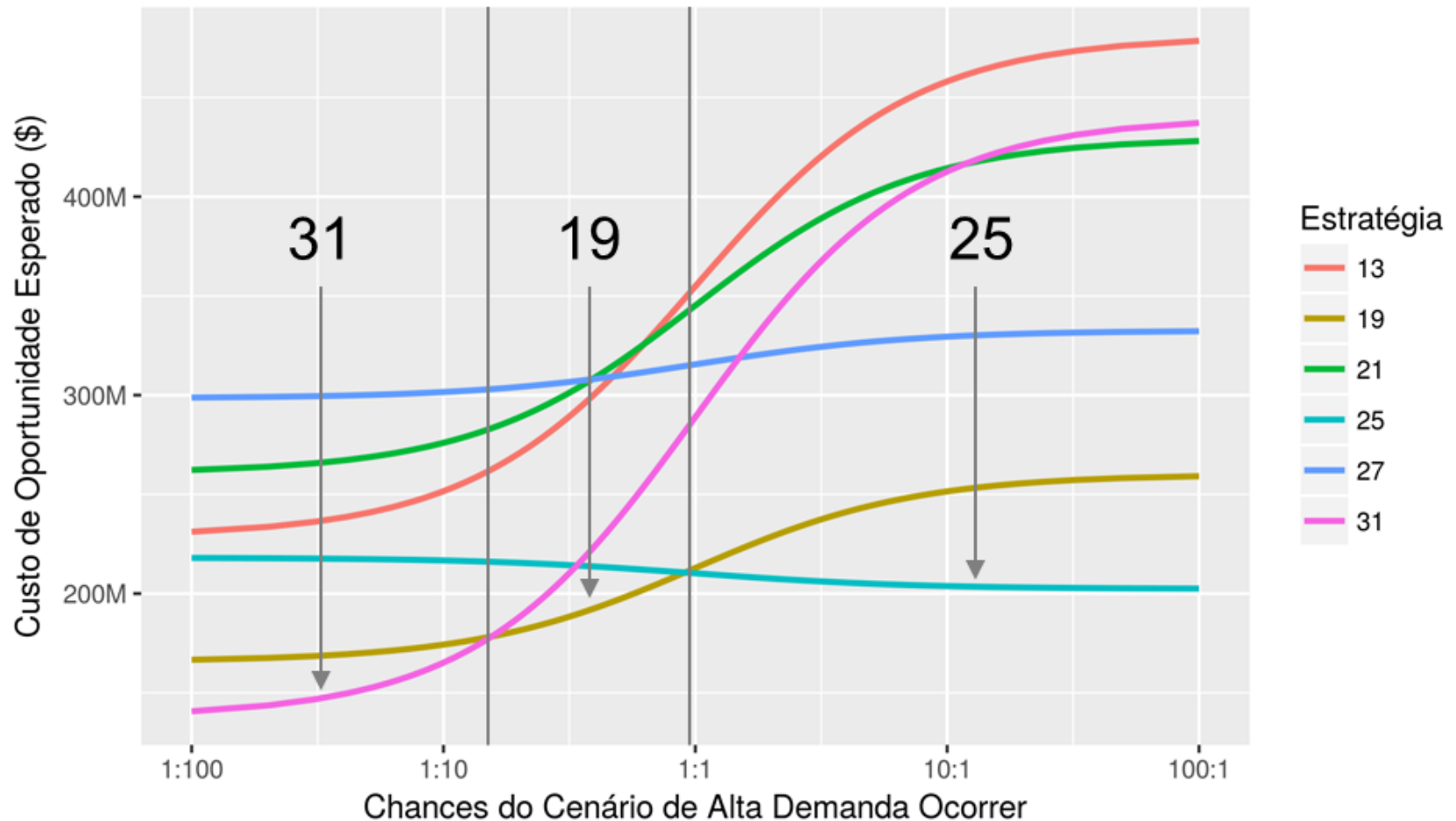


Estatística	Valor	Significado
Cobertura (Coverage)	46 %	As condições especificadas acima contém 46 % dos casos onde a estratégia falha.
Densidade (Density)	82,1 %	Dentro das condições especificadas, a estratégia falha em 82,1 % das simulações.
Abrangência (Mass)	14 %	As condições especificadas contém 14 % de todos os casos simulados.

Identificação de Estratégias Alternativas

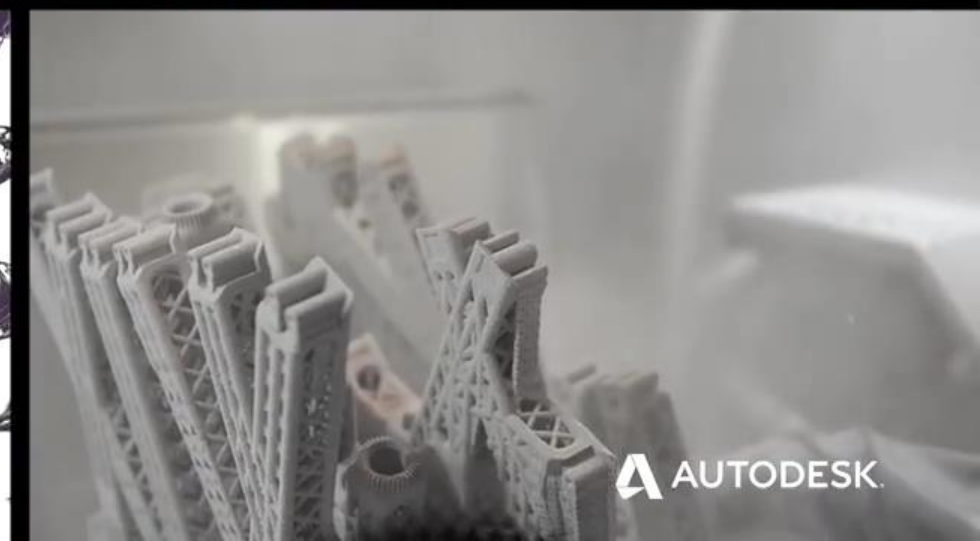
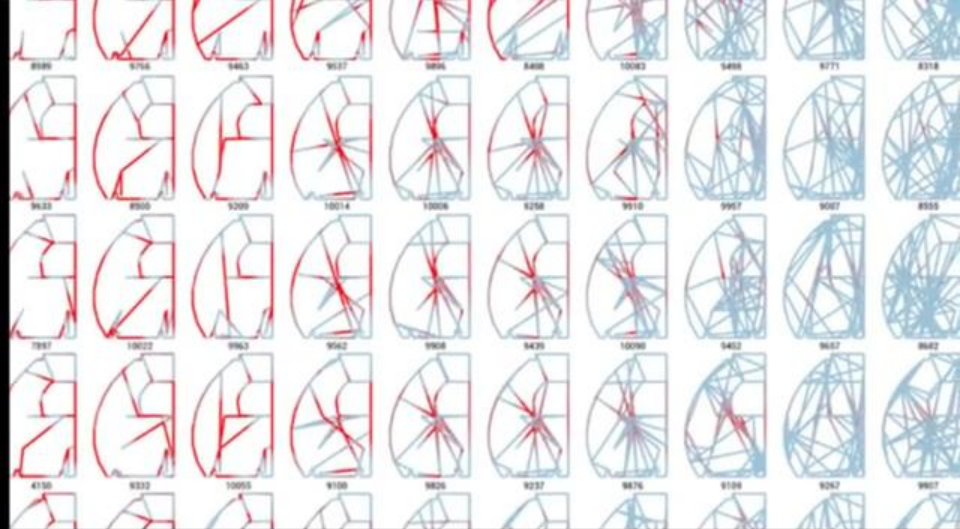


Identificação de Estratégias Alternativas



Conclusões e Contribuições

- Para a Indústria da Manufatura Aditiva:
 - Estratégias agressivas, sem investimento em P&D Aberto foram mais robustas do que as demais;
 - A difusão das impressoras 3D pode ter menor velocidade em função do seu preço e não apenas performance, logo investir mais em P&D não necessariamente é a melhor estratégia;
- Para a Avaliação de Decisões Estratégicas:
 - O trabalho é inovador ao empregar o RDM à avaliação de um problema de dinâmica competitiva;
- Futuros Trabalhos podem:
 - Expandir o modelo para considerar outros aspectos da indústria de manufatura aditiva;
 - Adaptar o modelo empregado e realizar a análise em outros contextos;
 - Considerar outras abordagens de decisão sob incerteza (ex.: DAAP, MORDM, Info-Gap).



Obrigado!

26

GMAP | UNISINOS

Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem

www.gmap.unisinos.br



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS