

# Orquestrando Avaliações Experimentais com ICN-Stage

Rafael D. Beltran<sup>1</sup>, Kayuã P. Oleques<sup>1</sup>, Diego Kreutz<sup>1</sup>,  
Rodrigo B. Mansilha<sup>1</sup>, Weverton Cordeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

{rafaelbeltran.aluno, kayuapaim.aluno, kreutz, mansilha}@unipampa.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

weverton.cordeiro@inf.ufrgs.br

**Abstract.** *After years of research and development based mainly on analytical and simulational methodologies, the ICN community has invested efforts in experimental evaluations towards the implantation of the technology. However, this methodology involves challenges related to the testbed, such as heterogeneity and faults of nodes and links. To overcome these challenges, we present ICN-STAGE, a framework for reproducible and fault-tolerant distributed ICN experiments. In ICN-STAGE, experiments are played with processes (roles) enacted by nodes (actors) in a testbed (stage). A controller (director) instruments actors, ensures global coordination, detects actor failures, and replaces them as needed. Results from Mininet and FIBRE evidence ICN-STAGE's feasibility and potentialities.*

**Resumo.** *Após anos de pesquisa e desenvolvimento baseadas principalmente em metodologias analíticas e simulacional, a comunidade da área de ICN tem investido esforços em avaliações experimentais em direção a implantação da tecnologia. Porém, essa metodologia envolve desafios relacionados ao ambiente de testes, como heterogeneidade e falhas de nós e enlaces. Neste trabalho propomos um arcabouço denominado ICN-Stage para facilitar a execução de experimentos ICN distribuídos reprodutíveis e tolerantes a falhas. No ICN-Stage, os experimentos são realizados como uma peça teatral com processos (papéis) interpretados por nós (atores) em um testbed (palco). Um controlador (diretor) instrumenta os atores, garante a coordenação global, detecta as falhas dos atores e os substitui conforme necessário. Resultados obtidos em Minikube e no FIBRE evidenciam a viabilidade e potencialidades do ICN-Stage.*

## 1. Introdução

As Redes Centradas em Informação (*Information Centric Networks* - ICN) são uma proposta para a Internet do Futuro com ênfase em disseminação eficiente e segura de conteúdos. A comunidade científica interessada em ICN tem caminhado em direção a realização de avaliações baseadas em metodologia experimental em ambiente real [Rahman et al. 2020, Nichols 2019, Lim et al. 2018]. Porém, alcançar resultados reproduzíveis obtidos por experimentos realizados em ambientes de testes distribuídos ainda está longe de ser trivial por muitos fatores, incluindo reprodução de configurações e ocorrência de falhas durante a execução [Bajpai et al. 2019]. A literatura contém exemplos de esforços para orquestrar experimentos ICN [Hyunwoo et al. 2015,

De Benedetto et al. 2017], mas pouco ainda foi feito em direção ao provimento de tolerância a falhas.

Falhas podem ser classificadas como intermitente (*i.e.*, quando sistema oscila entre modo falho e modo correto) ou permanente (*i.e.*, uma vez no modo falho, o sistema não retorna para modo correto) e podem ocorrer em nós ou enlaces. Essas falhas podem gerar erros durante a realização do experimento e, conseqüentemente, defeito nas análises dos resultados. Uma maneira custosa e pouco produtiva de evitar o defeito na etapa de análise é repetir experimentos até obter resultados sem erros. Porém, repetir experimentos pode ser demasiadamente custoso ou inútil na medida que novas falhas podem ocorrer, especialmente em experimentos de larga escala ou de longa duração. Uma segunda maneira de evitar defeito é corrigir *datasetes* defeituosos usando, por exemplo, técnicas de inteligência artificial [Paim et al. 2021].

Uma terceira maneira de evitar defeito é prevenir falhas. Alguns trabalhos [Santos et al. 2014, Garrett et al. 2017] propõem métodos para selecionar os nós mais confiáveis do ambiente de testes com base no histórico de desempenho. Uma quarta maneira de evitar defeito é tolerar falha em tempo de execução. Nesse sentido, alguns esforços de pesquisa avançaram para detectar falhas, mas carecem de mecanismos de recuperação [Ruiz et al. 2013, Imbert et al. 2013].

Em [Junior et al. 2018], propomos o EasyExp, um arcabouço tolerante a falhas para avaliação experimental de sistemas distribuídos. Nele, o usuário expressa experimentos sistematicamente, como uma seqüência de ações cronometradas. Um coordenador global garante que os nós executem suas ações conforme o esperado e acompanhe eventuais falhas e recupere falhas para evitar erros nos resultados.

Neste trabalho, avançamos e especializamos o EasyExp na forma do ICN-STAGE: um arcabouço para provimento de reprodutibilidade e tolerância a falhas em experimentos ICN a serem realizados em ambientes distribuídos de larga escala. O ICN-STAGE orquestra um experimento (peça) com um conjunto de processos (papéis) executados por nós virtuais ou físicos (atores) em um ambiente de testes (palco). Um controlador distribuído (diretor) garante a coordenação global da peça, detecta falhas de atores e os substitui conforme necessário. Especificamente, este trabalho apresenta as seguintes contribuições: (i) uma arquitetura preliminar de um arcabouço para reprodução de experimentos ICN tolerantes a falhas; (ii) instanciação da arquitetura na forma do ICN-STAGE, disponível publicamente para realização de experimentos ICN em ambientes de testes distribuídos; (iii) configuração do ICN-STAGE para realização de experimentos ICN em ambiente local usando Minikube<sup>1</sup> e em ambiente distribuído usando FIBRE<sup>2</sup>.

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2 é explicado o funcionamento do ICN-Stage e na Seção 3 é discutida a avaliação do sistema. Na Seção 4 são tecidas as considerações finais.

## 2. ICN-Stage

O sistema investigado neste trabalho é composto um *usuário* que desenha experimentos ICN de longa duração e grão grosso de tempo e os executa através de algum ambiente

---

<sup>1</sup><https://minikube.sigs.k8s.io/>

<sup>2</sup><https://portal.fibre.org.br/>



de tolerância a falhas do Diretor é baseado em réplicas com escolha de líder. Em suma, o algoritmo de eleição do ICN-STAGE segue a decisão da eleição do ZooKeeper.

### 3. Avaliação

Executamos uma peça simples no ICN-STAGE para demonstrar suas capacidades. A peça é composta por dois papéis: um publicador de conteúdo e um solicitante de conteúdo. Cada papel representa a execução do respectivo componente do NDN Traffic Generator<sup>5</sup>, que permite gerar e atender fluxos de requisições NDN. Cada instância é conectada a um Named Data Networking Forwarding Daemon<sup>6</sup> (*i.e.*, uma espécie de roteador da arquitetura NDN), que também é responsável do papel. Cada unidade de cache foi configurada com capacidade máxima de 1 conteúdo. Desse modo, a maioria dos interesses enviados pelo solicitante devem alcançar o publicador, pois cada solicitação tende a resultar em *cache miss* considerando a relação entre tamanho de cache e tamanho do catálogo. Definimos um catálogo de 100 conteúdos de 8KiB cada. O solicitante gera a demanda de um conteúdo, que é escolhido seguindo probabilidade uniforme, a cada 100 milissegundos durante 540 segundos. Para aferir a execução, nós monitoramos as solicitações recebidas pelo publicador (e conferimos com as requisições enviadas pelos solicitantes).

A peça foi executada em 5 cenários distintos de falha e redundância de ator (solicitante) e diretor conforme a Tabela 1. Para prover redundância de atores (cenários 3-5), escalamos um terceiro ator. Para prover redundância de diretores (cenários 4 e 5), instanciamos 3 diretores para haver quórum durante a eleição de líder. Para gerar as falhas de atores e diretores (cenários 2-5), utilizamos uma função do Kubernetes de remoção de nó.

**Tabela 1. Cenários da avaliação.**

#	Qtd. Atores	Qtd. Diretores	Falha Ator?	Falha Diretor?	Descrição
C1	2	1	X	X	sem falha de ator e de diretor
C2	2	1	✓	X	com falha e sem redundância de ator e sem falha de diretor
C3	3	1	✓	X	com falha e redundância de ator e sem falha de diretor
C4	3	3	✓	✓	com falha e redundância de ator e com falha e sem redundância de diretor
C5	3	3	✓	✓	com falha e redundância de ator e com falha e redundância de diretor

A Fig. 2 apresenta as requisições recebidas pelo publicador durante cada um dos cinco cenários no FIBRE. Vale ressaltar que resultados similares foram obtidos em ambiente local. O primeiro cenário (C1) não contém falha e serve como base de comparação. Observe-se uma média de 10 requisições por segundo durante 540 segundos, conforme especificado. O segundo cenário indica que a falha do ator encerra requisições e que, portanto, o mecanismo de injeção de falha é efetivo. O terceiro cenário mostra que o ICN-STAGE é capaz de tolerar falhas de ator. O quarto cenário sugere que a falha do diretor, a exemplo do segundo caso, também é efetivo. Por fim, o quinto cenário demonstra que o ICN-STAGE é capaz de tolerar falhas de atores e diretores combinadas.

Destacamos duas observações sobre os resultados gerais. Primeiro, pode-se observar que os inícios e términos das execuções dos diferentes cenários coincidem entre si, assim como as falhas e a execução da etapa restante, ilustrando a capacidade de reprodutibilidade do ICN-STAGE. Segundo, o tempo necessário para detecção e correção de

<sup>5</sup><https://github.com/named-data/ndn-traffic-generator>

<sup>6</sup><https://github.com/named-data/NFD>

falha de ator foi, consistentemente, 53 segundos aproximadamente. Observamos que esse valor pode ser considerado baixo para experimentos de longa duração (ordem de horas ou dias), nos quais tolerância a falha é mais relevante, e que, caso necessário, esse tempo pode ser minimizado com futuras otimizações de código.

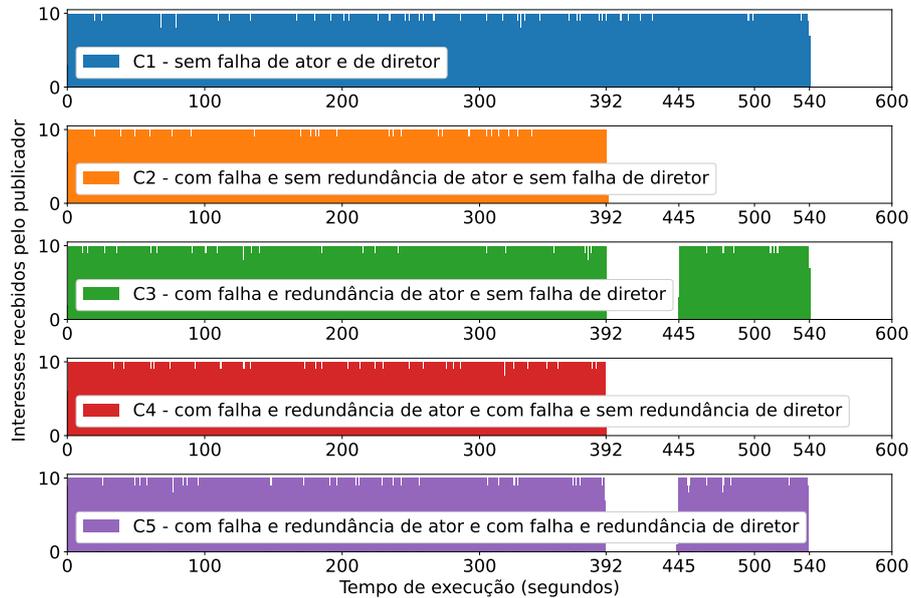


Figura 2. Resultados da peça em 5 cenários distintos executados no FIBRE

#### 4. Conclusão

Neste trabalho apresentamos o ICN-STAGE- um arcabouço para execução reproduzível de experimentos ICN tolerante a falhas. Demonstramos as funcionalidades do ICN-STAGE através de experimentos realizados em ambientes local e distribuído no FIBRE.

Este trabalho representa um fotografia de um esforço em andamento e, portanto, restam uma série de desafios a serem superados em trabalhos futuros. Em termos de avaliação, pretendemos investigar o impacto do ICN-STAGE em experimentos de longa duração. Em termos de desenvolvimento, pretendemos atestar e eventualmente ajustar o ICN-STAGE para outras arquiteturas ICN (*e.g.*, hICN [Carofiglio et al. 2019]) e outros ambientes de teste distribuídos como PlanetLab-eu<sup>7</sup> e Edgenet<sup>8</sup>. Outra ideia é introduzir *audições* (para verificar as aptidões dos atores para um determinado papel/tarefa) e manter uma fila de *dublês* (que replicam o contexto de um ator, para minimizar o tempo necessário para sua substituição). Por fim, estamos trabalhando para caracterizar e superar desafios relacionados à tolerância a falhas em experimentos com grandes requisitos de cache e com topologias avançadas.

Acreditamos que ICN-STAGE possa contribuir para condução de novos experimentos, bem como na reprodução de experimentos publicados anteriormente na literatura. Pretendemos criar peças que reproduzam experimentos publicados na literatura. Dessa forma, acreditamos que ICN-STAGE possa contribuir para comparação cruzada de tecnologias e reprodutibilidade de resultados. Pretendemos aplicar ICN-STAGE na condução de pesquisas futuras no âmbito de ICN.

<sup>7</sup><https://www.planet-lab.eu/>

<sup>8</sup><https://www.edge-net.org/>

## Referências

- Bajpai, V., Brunstrom, A., Feldmann, A., Kellerer, W., Pras, A., Schulzrinne, H., Smaragdakis, G., Wählisch, M., and Wehrle, K. (2019). The dagstuhl beginners guide to reproducibility for experimental networking research. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 49(1):24–30.
- Beltran, R. D., Paim, K. O., Kreutz, D., Mansilha, R. B., and Cordeiro, W. C. Icn-stage repo. [https://github.com/RafaelDBeltran/ICN-Stage\\_WPEIF-2022](https://github.com/RafaelDBeltran/ICN-Stage_WPEIF-2022).
- Carofiglio, G., Muscariello, L., Augé, J., Papalini, M., Sardara, M., and Compagno, A. (2019). Enabling icn in the internet protocol: Analysis and evaluation of the hybrid-icn architecture. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on ICN, ICN '19*. ACM.
- De Benedetto, J., Arumathurai, M., and Fu, X. (2017). ICN Personalized Global-Scale Testbed Using GTS. In *Proceedings of the 4th ACM Conference on Information-Centric Networking, ICN '17*, pages 208–209, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Garrett, T., Bona, L. C., and Duarte Jr, E. P. (2017). Improving the performance and reproducibility of experiments on large-scale testbeds with k-cores. *Computer Communications*.
- Hyunwoo, L., Kim, D., Suh, J., and Kwon, T. T. (2015). ICN-OMF: A control, management framework for Information-Centric Network testbed. In *2015 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pages 416–417.
- Imbert, M., Pouilloux, L., Rouzaud-Cornabas, J., Lèbre, A., and Hirofuchi, T. (2013). Using the execo toolkit to perform automatic and reproducible cloud experiments. In *Int'l Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2013)*, volume 2, pages 158–163. IEEE.
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M., Briggs, N., and Braynard, R. (2012). Networking named content. *Commun. ACM*, 55(1):117–124.
- Junior, N. A. A., da Costa Cordeiro, W. L., and Gaspar, L. P. (2018). Permitindo maior reprodutibilidade de experimentos em ambientes distribuídos com nodos de baixa confiabilidade. In *Anais do XXXVI SBRC*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Lim, H., Ni, A., Kim, D., Ko, Y., Shannigrahi, S., and Papadopoulos, C. (2018). Ndn construction for big science: Lessons learned from establishing a testbed. *IEEE Network*, 32(6):124–136.
- Nichols, K. (2019). Lessons Learned Building a Secure Network Measurement Framework Using Basic NDN. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Information-Centric Networking, ICN '19*, pages 112–122, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Paim, K., Beltran, R., Mansilha, R., and Cordeiro, W. (2021). Usando redes neurais para reconstruir traços de sessões de usuários de sistemas de larga escala. In *Anais do XXXIX SBRC*, pages 826–839, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Rahman, A., Trossen, D., Kutscher, D., and Ravindran, R. (2020). Deployment Considerations for Information-Centric Networking (ICN). RFC 8763.
- Ruiz, C. C., Richard, O. A., Iegorov, O., and Videau, B. (2013). Managing large scale experiments in distributed testbeds. In *Int'l Association of Science and Technology for Development (IASTED)*, pages 628–636.
- Santos, M., Fernandes, S., and Kamienski, C. (2014). Conducting network research in large-scale platforms: Avoiding pitfalls in planetlab. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, pages 525–532. IEEE.