

# Estudo de observáveis de jatos em colisões de íons pesados

Fabio de Moraes Canedo  
7994642

Orientador:

Prof. Marcelo Gameiro Munhoz  
Instituto de Física da Universidade de São Paulo  
Dezembro de 2019 a Novembro de 2019

29 de novembro de 2019

# 1 Resumo do Projeto

## 1.1 Introdução

Em colisões entre íons pesados(íons de chumbo ou ouro) a uma energia da ordem de  $100\text{GeV}$  no sistema de referência do centro de massa, é possível obter um novo estado da matéria, chamado de Plasma de Quarks e Gluons, onde estas partículas deixam de estar confinadas em hadrons, introduzindo novos graus de liberdade no sistema. A temperatura necessária para formar este estado da matéria é da ordem de  $200\text{MeV}$ [1] ou  $10^{12}\text{K}$ , e a densidade de energia excede o valor típico hadrônico de  $1\text{GeV}/fm^3$ . As propriedades deste estado da matéria podem ser estudadas analisando os produtos dessa colisão após o resfriamento da matéria. Através do espectro de  $p_T$  das partículas, por exemplo, obtém-se informações sobre a entropia e a temperatura do plasma, através da multiplicidade das partículas produzidas[1]. Em geral, essas propriedades referentes à expansão hidrodinâmica do plasma estarão associadas ao espectro na faixa de  $p_T \approx 0 - 2\text{GeV}/c$ . Na faixa  $p_T > 5\text{GeV}/c$ , observa-se os efeitos de fenômenos de *hard scattering*. Esses fenômenos são resultado da formação de partículas de alta energia que atravessam o plasma aquecido, depositando energia neste. Na sua saída, devido às propriedades[2] da QCD<sup>1</sup>, essas partículas se fragmentam criando os chamados jatos ou *jets*. Esses jatos sofrem efeitos estruturais por conta da interação dos partons iniciais[3–7] com o plasma.

Nos instantes iniciais das colisões entre íons pesados, partons de alta energia podem ser gerados. Estes podem ser utilizados como ponta de prova para o estudo do Plasma de Quarks e Gluons devido à sua interação com este em seu caminho para fora da região de interação[8, 9]. Eles interagem com o meio de duas formas, através da radiação induzida, ou *gluonsstrahlung*, e através de reações colisionais.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é investigar como diferentes modelos hidrodinâmicos e de condições iniciais afetam observáveis de alto momento transversal, ou seja, observáveis de jatos.

## 1.3 Métodos

Para a realização desse trabalho utilizamos geradores de eventos, que são essencialmente simuladores de colisões hadrônicas, para verificar os efeitos

---

<sup>1</sup>QCD ou *Quantum Chromodynamics* é a teoria que descreve as interações fortes.

esperados do meio hidrodinâmico em expansão na fragmentação de partons de alta energia, que podem ser observados através do estudo da subestrutura de jatos. Os modelos que foram investigados são:

- v-USPhydro[11–14], modelo relativístico de fluxo hidrodinâmico(2+1) com viscosidade;
- JEWEL[15, 16], constitui um gerador de eventos com modelos específicos de *Jet Quenching*;
- PYTHIA[17], que constitui em um gerador de colisões próton-próton;

## 2 Realizações

As realizações desse período incluem simulações para a análise dos efeitos da hidrodinâmica realista em observáveis de jatos. Vários observáveis de estrutura a forma de jatos foram analisados, bem como observáveis relativos à correlação do jato com o meio hidrodinâmico produzido em colisões de íons pesados. Também nesse período trabalhei em monitorias das disciplinas de Física Experimental III e IV. Além disso, compareci ao XL Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos, onde apresentei alguns resultados obtidos nesse trabalho. O mais relevante destes é a análise do observável  $v_2$ , que mede a assimetria anisotrópica azimutal, esse resultado pode ser visto na Figura 2.0.1. Como se pode observar, ainda não há concordância experimental a respeito da magnitude dessa anisotropia, mas há concordância a respeito do fato de que ela existe, isso é suportado por outros observáveis que indicam flutuações significativas nas condições iniciais. O trabalho mostra que a inclusão de hidrodinâmica mais realista aliada a condições iniciais também mais realistas conseguem reproduzir essa assimetria diferente de zero. É importante salientar que a magnitude ainda precisa ser estudada com mais cuidado, assim como a dependência com o momento transversal.

## 3 Cronograma

No estágio atual do trabalho estou na fase de escrita da dissertação e na realização das últimas simulações. Em breve(até Março de 2020) pretendo realizar a minha defesa.

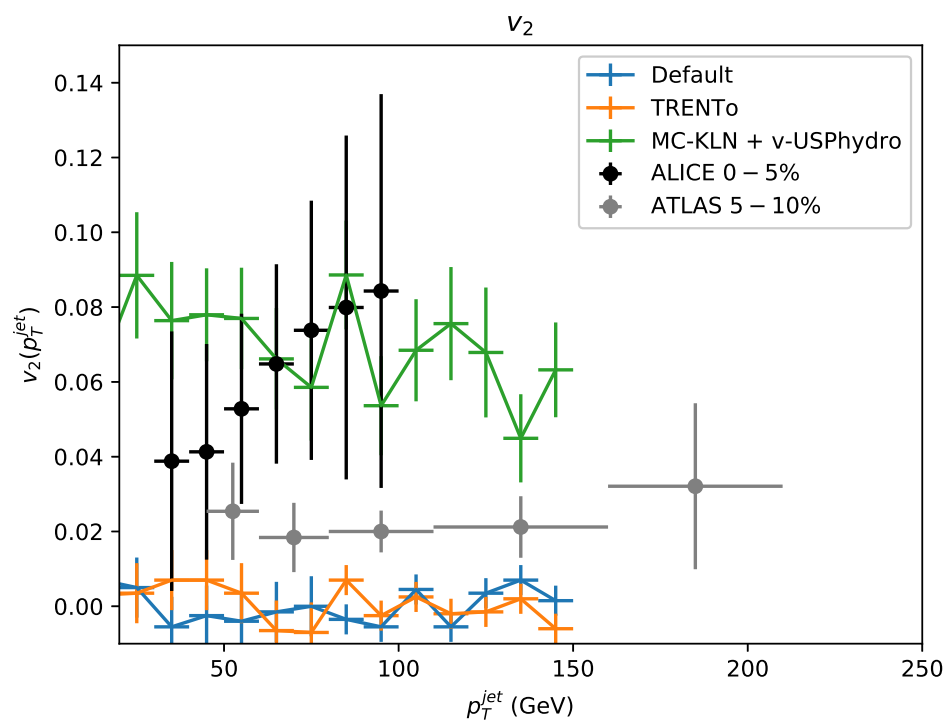


Figura 2.0.1: Análise da assimetria anisotrópica azimutal.

## Referências

- [1] J. Letessier and J. Rafelski, *Hadrons and Quark-Gluon Plasma*, May 2002. [Online]. Available: [/core/books/hadrons-and-quarkgluon-plasma/552D050DB6E3D922271E2D3F3F5354C0](#)
- [2] P. Skands, “Introduction to QCD,” *arXiv:1207.2389 [hep-ph, physics:hep-th]*, pp. 341–420, Nov. 2013. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1207.2389>
- [3] I. P. Lokhtin and A. M. Snigirev, “Angular structure of energy losses of hard jet in dense QCD-matter,” *Physics Letters B*, vol. 440, no. 1-2, pp. 163–169, Nov. 1998. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9805292>
- [4] S. A. Bass, C. Gale, A. Majumder, C. Nonaka, G.-Y. Qin, T. Renk, and J. Ruppert, “Systematic Comparison of Jet Energy-Loss Schemes in a realistic hydrodynamic medium,” *Physical Review C*, vol. 79, no. 2, Feb. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0808.0908>
- [5] M. Connors, C. Nattrass, R. Reed, and S. Salur, “Review of Jet Measurements in Heavy Ion Collisions,” *arXiv:1705.01974 [nucl-ex]*, May 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1705.01974>
- [6] C. Nattrass, “Jet quenching: an iconic result revisited,” *arXiv:1801.09131 [nucl-ex]*, Jan. 2018. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1801.09131>
- [7] D. d’Enterria, “Jet quenching in QCD matter: from RHIC to LHC,” *Nuclear Physics A*, vol. 827, no. 1-4, pp. 356c–364c, Aug. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0902.2488>
- [8] H. T. Li and I. Vitev, “Inverting the mass hierarchy of jet quenching effects with prompt  $b$ -jet substructure,” *arXiv:1801.00008 [hep-ex, physics:hep-ph]*, Dec. 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1801.00008>
- [9] T. Renk, “Jet quenching and heavy quarks,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 509, p. 012022, May 2014. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1309.3059>
- [10] K. Zapp, G. Ingelman, J. Rathsman, J. Stachel, and U. A. Wiedemann, “A Monte Carlo Model for ‘Jet Quenching’,” *The European Physical*

- Journal C*, vol. 60, no. 4, pp. 617–632, Apr. 2009, arXiv: 0804.3568. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0804.3568>
- [11] “Jacquelyn Noronha-Hostler | v-USPhydro.” [Online]. Available: <http://jakinoronhahostler.wixsite.com/jmnh/v-usphydro>
- [12] J. Noronha-Hostler, B. Betz, J. Noronha, and M. Gyulassy, “Event-by-event hydrodynamics + jet energy loss: A solution to the  $R_{AA} \otimes v_2$  puzzle,” *Physical Review Letters*, vol. 116, no. 25, Jun. 2016, arXiv: 1602.03788. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1602.03788>
- [13] J. Noronha-Hostler, J. Noronha, and F. Grassi, “Bulk viscosity-driven suppression of shear viscosity effects on the flow harmonics at energies available at the BNL Relativistic Heavy Ion Collider,” *Physical Review C*, vol. 90, no. 3, p. 034907, Sep. 2014. [Online]. Available: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.90.034907>
- [14] J. Noronha-Hostler, J. Noronha, and M. Gyulassy, “Sensitivity of flow harmonics to subnucleon scale fluctuations in heavy ion collisions,” *Phys.Rev.*, vol. C93, p. 024909, Feb. 2016.
- [15] *JEWEL – Hepforge*. [Online]. Available: <https://jewel.hepforge.org/>
- [16] K. C. Zapp, “JEWEL 2.0.0 - Directions for Use,” *The European Physical Journal C*, vol. 74, no. 2, Feb. 2014, arXiv: 1311.0048. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1311.0048>
- [17] *PYTHIA*. [Online]. Available: <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>
- [18] *MUSIC*. [Online]. Available: <http://www.physics.mcgill.ca/music/>
- [19] I. P. Lokhtin, L. V. Malinina, S. V. Petrushanko, A. M. Snigirev, I. Arsene, and K. Tywoniuk, “HYDJET++ heavy ion event generator and its applications for RHIC and LHC,” *Journal of High Energy Physics*, vol. 2009, no. 09, pp. 023–023, Sep. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0903.0525>