



Run-II displaced vertices analysis

Bruno Lopes

SPRACE



Search for long-lived particles decaying to jets with displaced vertices in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

Bruno Lopes

SPRACE

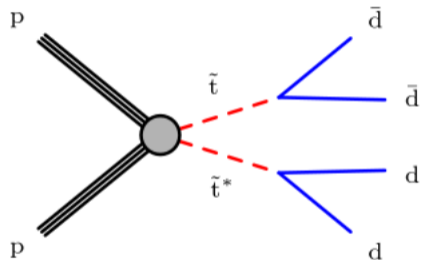
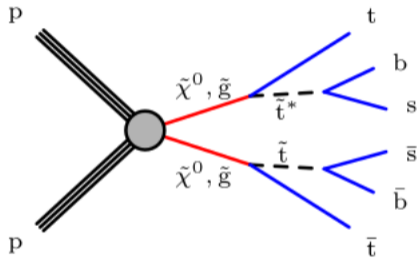
Partículas de longa vida (LLP) criadas em pares e produzindo vértices deslocados ao decair

- Comum em modelos BSM: violação de R-paridade (RPV), split SUSY, hidden valley, stealth SUSY ...
- Uma busca independente de modelos é útil para investigar o vasto espaço de parâmetros
- Esta análise busca LLPs que decaiam ainda dentro do beam pipe (22 mm)

Esta análise: Dois modelos com RPV:

- Neutralino ou gluino como partícula supersimétrica mais leve (LSP), decaindo em tbs (multijet)
- Top squark é a LSP, decaindo em pares de quarks tipo down (dijet)

Assinatura procurada



Partículas do modelo padrão geralmente têm vértices deslocados por erros na reconstrução

- Exigida uma separação no plano transversal
- Uma separação mínima suprime os backgrounds

b-quark background: veja mais adiante

Esta análise busca LLPs com comprimento de decaimento próprio ($c\tau$) entre 0.1 e 100 mm, e é sensível a massas a partir de 600 GeV (trigger de alto momento dos jatos)

Os critérios de pré-seleção se resumem a:

- No trigger, $H_T > 1050$ GeV, offline requer 1200 GeV, 98% de eficiência
 - Calculado com jatos de mais de 40 GeV e $|\eta| < 2.5$
- Pelo menos quatro jatos reconstruídos com $p_T > 20$ GeV e $|\eta| < 2.5$

Na simulação de eventos de sinal (pythia), a eficiência é de 96% para massas acima de 1200 GeV. Para 600 GeV, cai abaixo de 50%.

Reconstrução de vértices

- Tracks de alta qualidade ($p_T > 1$ GeV, 1 hit na camada interna do pixel, 1 hit em outra camada, 6 hits no silicon strip)
- Seed vertices: Kalman filter
- Vértice válido: $\chi^2/\text{ndf} < 5$
- Dois vértices compartilham um traço, e a distância é menor que 4 vezes a incerteza: fit aplicado a todas as tracks de ambos
- Resultado satisfaz o requerimento no χ^2 : vértices são fundidos
- Track com parâmetro de impacto menor que 1.5 desvios padrões: é adicionada ao vértice com mais tracks
- Parâmetro de impacto maior que 5 desvios padrões: traço removido do vértice
- Caso contrário: traço associado ao vértice de menor significância no parâmetro de impacto
- Quando um traço é removido, o fit do vértice é refeito. Se não atender ao requisito de χ^2 , é removido
- Algoritmo iterado até que não haja vértices compartilhando traços

Vértices: critérios de seleção

Após definidos os vértices, são aplicados critérios de seleção:

- Pelo menos 5 traços
- Exigido $d_{BV} > 100 \mu\text{m}$
- Para suprimir interação com o material, $d_{BV} > 20.9 \text{ mm}$
- Incerteza em d_{BV} de até $25 \mu\text{m}$ (b-quarks)
- Eventos precisam ter 2 vértices

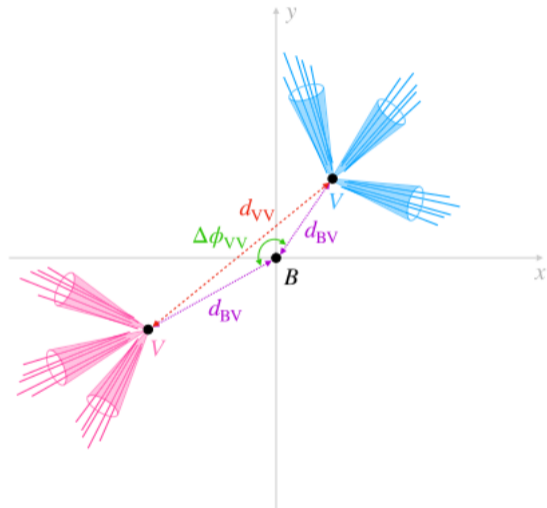
Eventos de vértices de 3 ou 4 traços e com só 1 vértice são usados como região de controle.

Variáveis analisadas

d_{VV} : Distância entre vértices, no plano transverso

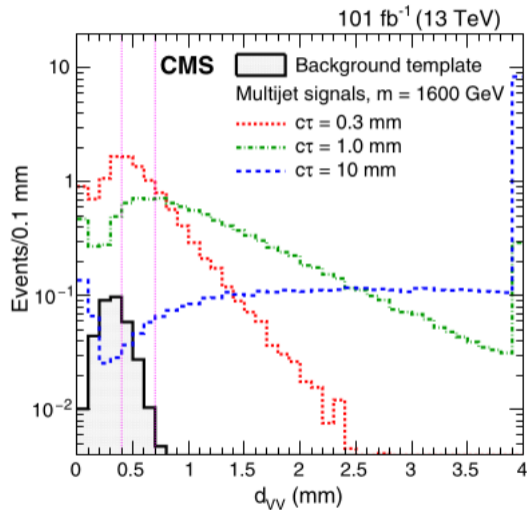
d_{VB} : Distância entre o vértice e o beam spot, no plano transverso

$\Delta\phi_{VV}$: Ângulo entre os vetores d_{VB}



Estratégia da busca

- A variável discriminante entre sinal e background é d_{VV}
 - Sinal: tende a ser back-to-back, aumentando d_{VV}
 - Eventos com mais vértices: usados aqueles com o maior número de tracks (empate: maior massa invariante)
- A distribuição de d_{VV} feita por simulação não é confiável. É construído um template através das regiões de controle nos dados.
- São usados três bins de d_{VV} : 0-0.4, 0.4-0.7 e 0.7-40 mm para maximizar a significância do sinal.

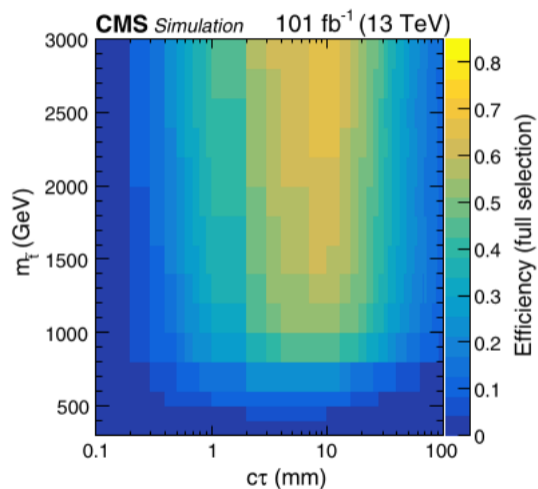
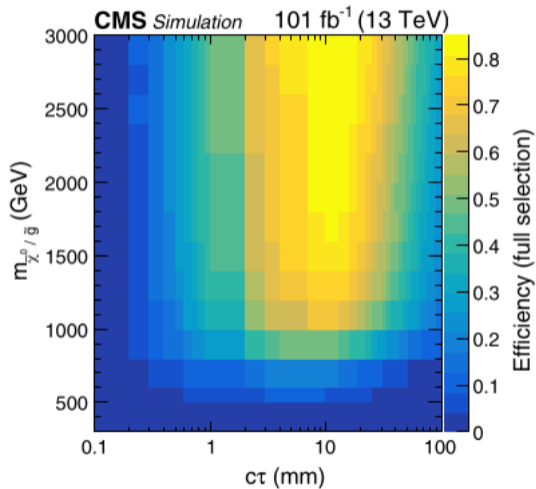


É importante estimar a eficiência do sinal para realizar o fit posteriormente. Devido a baixa estatística, o procedimento feito:

- Para estimar a eficiência do sinal, traços são manualmente afastados do vértice primário para produzir efeitos parecidos com sinal, e então é aplicado o procedimento de reconstrução
- Perda de eficiência do detector corrigida por simulação baseada em estudo de mésons K_S^0 , e as discrepâncias são incorporadas nas incertezas sistemáticas
- São aplicadas correções para perda de eficiência por aumentar d_{VV} em b-quarks

A seguir, a eficiência para multijet e dijet como função da massa da LLP e do $c\tau$

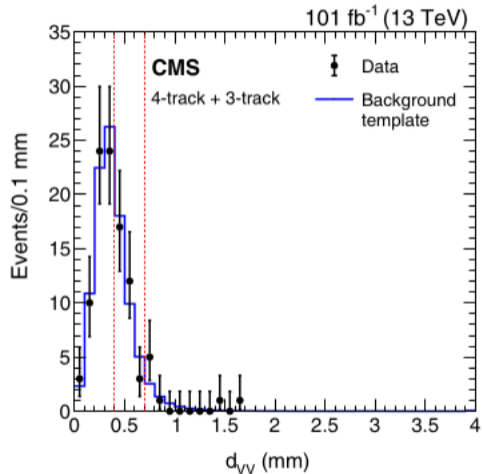
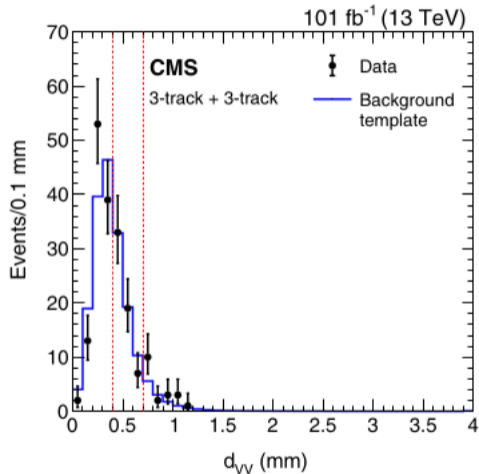
Eficiência do sinal: multijet e dijet



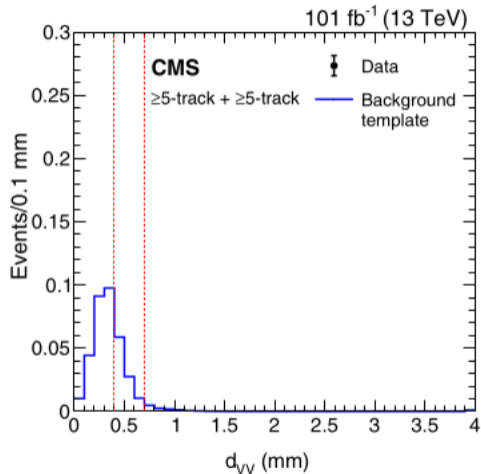
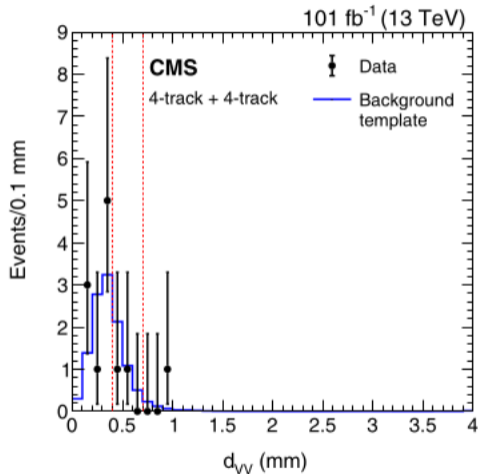
Construção do background

- Para construir uma distribuição d_{VV}^C , são selecionados pares de valores nas distribuições d_{VB} em eventos de 1 vértice e valores aleatórios para $\Delta\phi_{VV}$, até que d_{VV}^C contenha 20 vezes mais eventos que dados
- Para a distribuição de $\Delta\phi_{VV}$, é usado $\Delta\phi_{JJ}$ que é consistente entre vértices com 3, 4 e 5 tracks.
- Para compensar a supressão de d_{VV} baixo pela reconstrução de vértices, é feito um reweighting usando a eficiência
- São construídas amostras separadas para eventos com e sem b-quarks
- Contribuições de sinal e background são então ajustadas ao observado, normalizados pelo observado na região de dois vértices. Sem dados observados: normalização feita a partir da região de controle e eficiências.

Distribuições de d_{VV}



Distribuições de d_{VV}



Erros sistemáticos são divididos em duas categorias:

- Reconstrução do sinal
- Na amostra de background

Para cada categoria, os efeitos levados em consideração são resumidos nas tabelas a seguir

Erros sistemáticos: reconstrução do sinal

Systematic effect	Dijet uncertainty (%)	Multijet uncertainty (%)
Vertex reconstruction	11–41	1–36
PDF and α_s uncertainty	1–8	1–8
Integrated luminosity	2–3	2–3
Jet energy scale	5	5
Jet energy resolution	2	2
Pileup	2	2
Trigger efficiency	1	1
Changes in run conditions	1	1
Total	13–42	7–36

Erros sistemáticos: construção de d_{VV}^C

Systematic effect	Systematic uncertainty (%)		
	0–0.4 mm	0.4–0.7 mm	0.7–40 mm
Closure in 3-track control sample	10	14	50
≥ 5 -track template normalization factor	24	24	24
Difference from 3-track vertices to ≥ 5 -track vertices:			
Modeling of vertex pair survival efficiency	9	20	25
Modeling of $\Delta\phi_{VV}$	3	6	6
Variation of b quark fraction	1	3	6
Variation of b tagging correction factors	0.5	0.5	1
Total	28	35	61

Número de eventos previsto

Número de eventos de background:

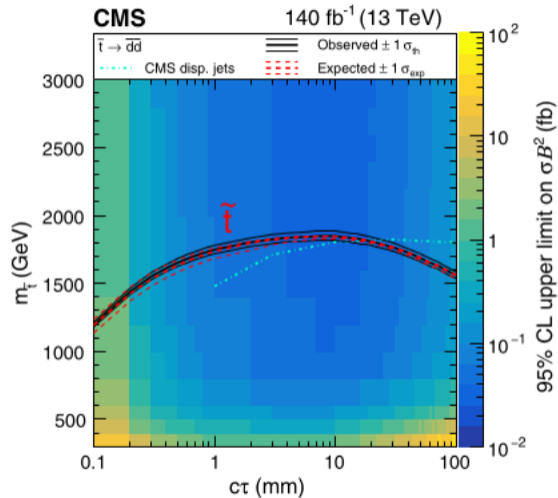
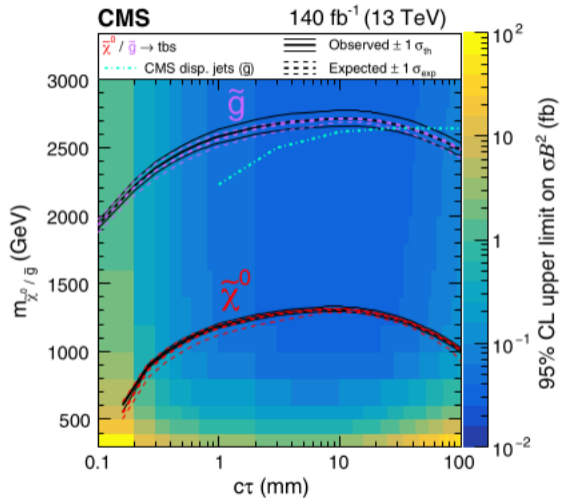
d_{VV} range	Predicted background yield
0–0.4 mm	$0.243 \pm 0.003(\text{stat}) \pm 0.061(\text{syst})$
0.4–0.7 mm	$0.097 \pm 0.003(\text{stat}) \pm 0.032(\text{syst})$
0.7–40 mm	$0.012 \pm 0.001(\text{stat}) \pm 0.006(\text{syst})$

Número de eventos de sinal, massa de 1600 GeV

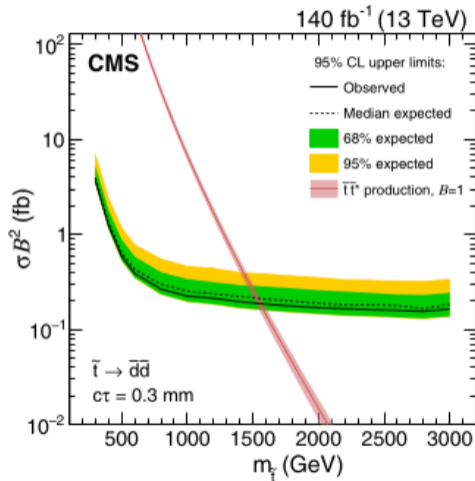
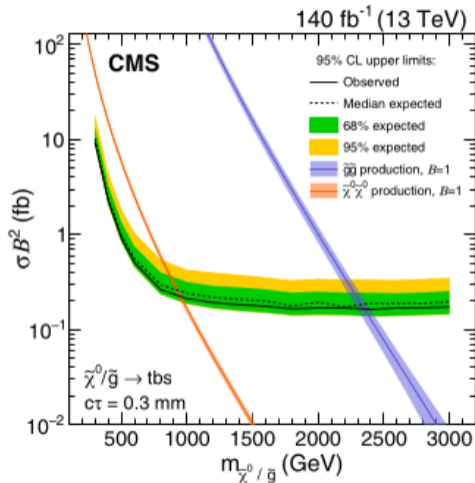
Predicted multijet signal yields		
0.3 mm	1.0 mm	10 mm
4.4 ± 0.5	1.5 ± 0.1	0.26 ± 0.02
4.1 ± 0.5	2.1 ± 0.2	0.14 ± 0.01
3.0 ± 0.3	7.6 ± 0.7	12 ± 1

- Não foram observados eventos na região de sinal
- Feito um ML fit para os três bins de d_{VV} . A normalização das contribuições de sinal e background são parâmetros livres, com o vínculo de não serem negativas.
- Limite de exclusão na seção de choque determinado com um prior uniforme.
- São apresentados a seguir os plots bidimensionais para a exclusão da seção de choque em função da massa da LLP e do $c\tau$, e as curvas de exclusão mantendo um fixo e variando o outro

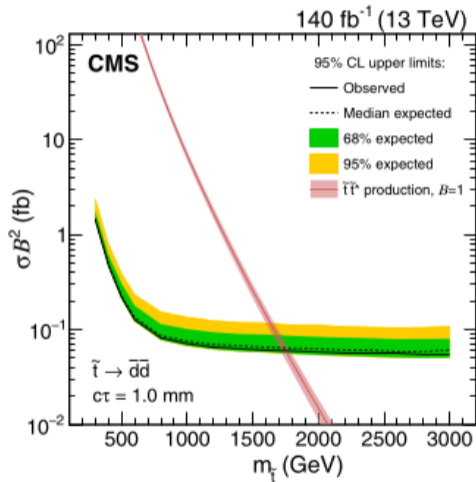
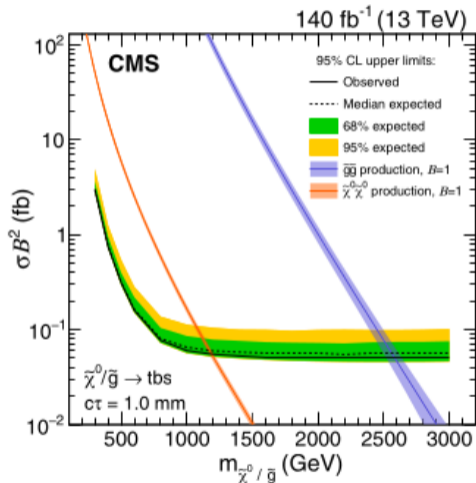
Resultados



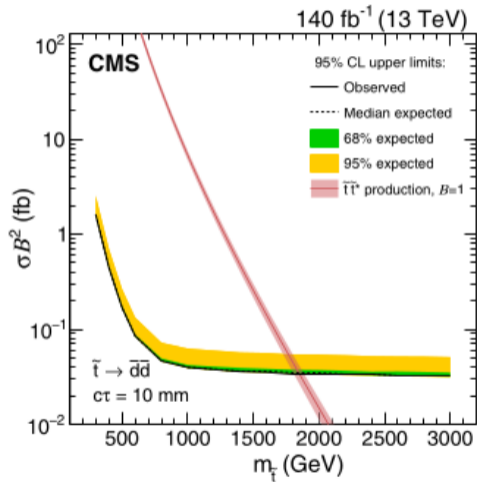
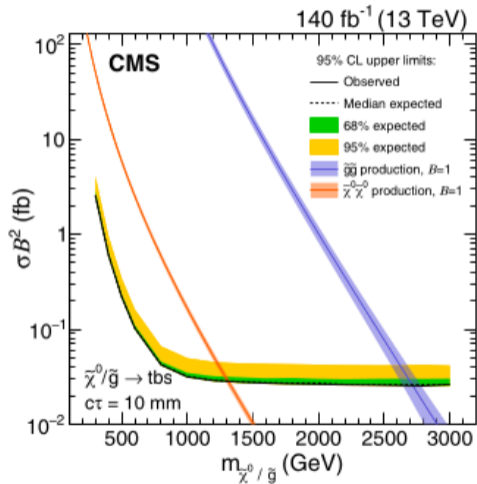
Curvas de exclusão: $c\tau$ fixo



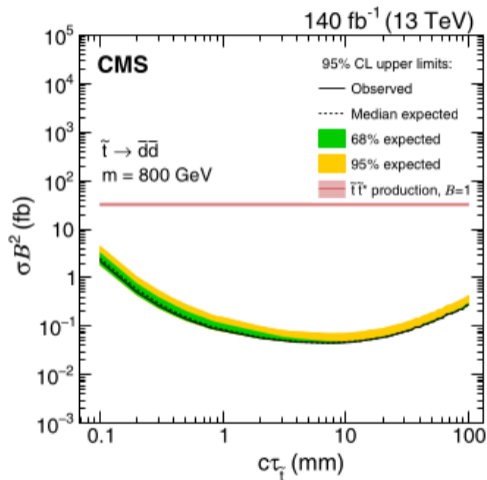
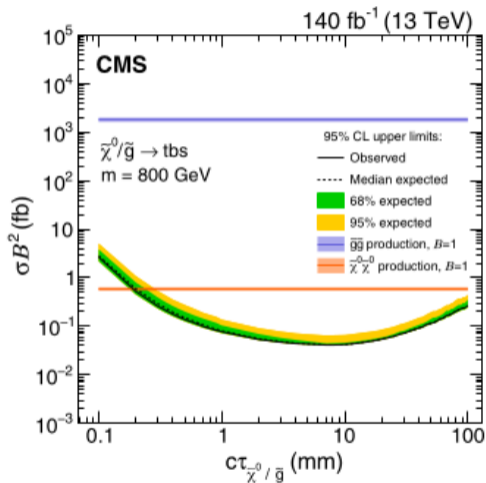
Curvas de exclusão: $c\tau$ fixo



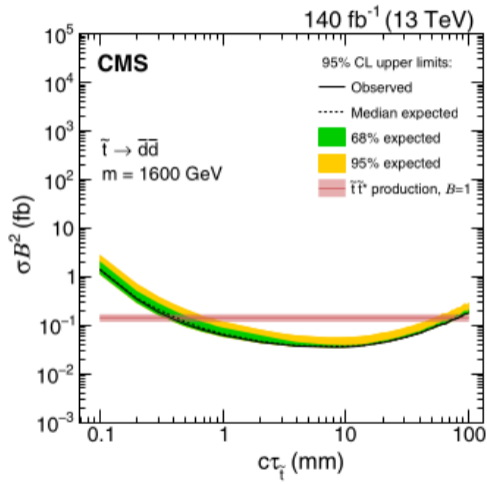
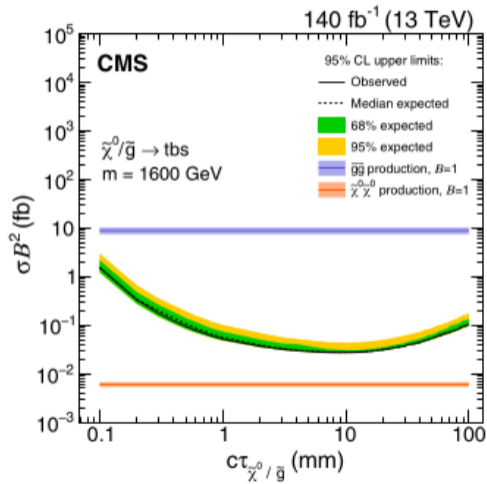
Curvas de exclusão: $c\tau$ fixo



Curvas de exclusão: massa fixa



Curvas de exclusão: massa fixa



Curvas de exclusão: massa fixa

