

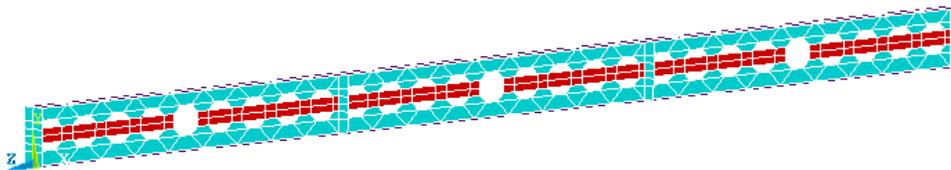
## 6 Viga Litzka Expandida

Neste capítulo é dada ênfase ao estudo da viga Litzka Expandida, que representa um dos objetivos desta dissertação. Comparações com resultados anteriores serão também realizadas.

Variações do comprimento e a quantidades das aberturas foram algumas variáveis testadas, resultando em configurações diversas. Para fins de comparação de resistência, padrões de mesma altura, porém com alma cheia foram modelados.

O processo de fabricação da viga Litzka Expandida esta ilustrado na Figura 2.18. Neste processo tem-se um aumento na inércia da viga por dois motivos, primeiro pela expansão da fabricação Litzka de aberturas e a segunda pela expansão direta da chapa inserida verticalmente, resultando em uma forma final octogonal para a abertura.

Nesta forma de fabricação tem-se uma flexibilidade na localização da abertura, pois a chapa de expansão é deslocável na extensão do comprimento até sua soldagem, transpassando apenas as aberturas pré-escolhidas. O conjunto total possui uma maior rigidez se comparada uma viga Litzka de mesmas dimensões e formato octogonal, pois as aberturas secundárias são “amarradas” pela chapa de expansão, fornecendo este acréscimo de rigidez e combatendo possíveis flambagens na alma, as quais são problemáticas nas vigas casteladas simples. A Figura 6.1 representa a modelagem de uma dessas vigas Litzka Expandidas.



**Figura 6.1 - Modelo de Viga Litzka Expandida demonstrando espessuras das chapas**

Estas novas aberturas octogonais possuem altura maior que as outras vigas simuladas assim como a maior inércia dentre os perfis. Outra vantagem é de

possuírem praticamente o mesmo peso linear quando comparadas às vigas com expansão simples.

As variações de aberturas simuladas são as seguintes:

- A primeira com três aberturas centradas em cada terço;
- A segunda sendo com quatro aberturas, estando duas dentro do terço central;
- A terceira com seis aberturas, duas centralizadas em cada terço;
- E a quarta também com seis aberturas, mas homogeneamente distribuídas na extensão da viga evitando esforços aplicados na viga.

Estas configurações podem visualizadas nas figuras Figura 6.2 a Figura 6.5, que representam a distribuição de tensões dos modelos.

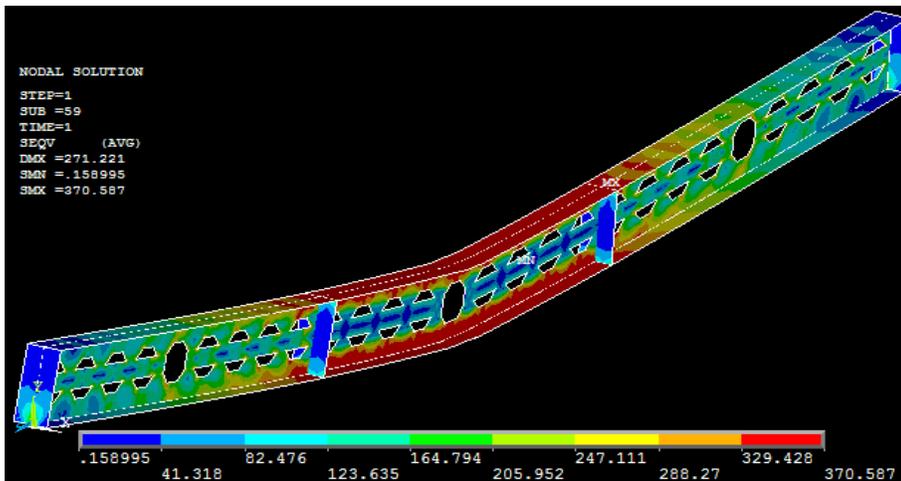


Figura 6.2 Litzka expandida W200, tensões para configuração 1

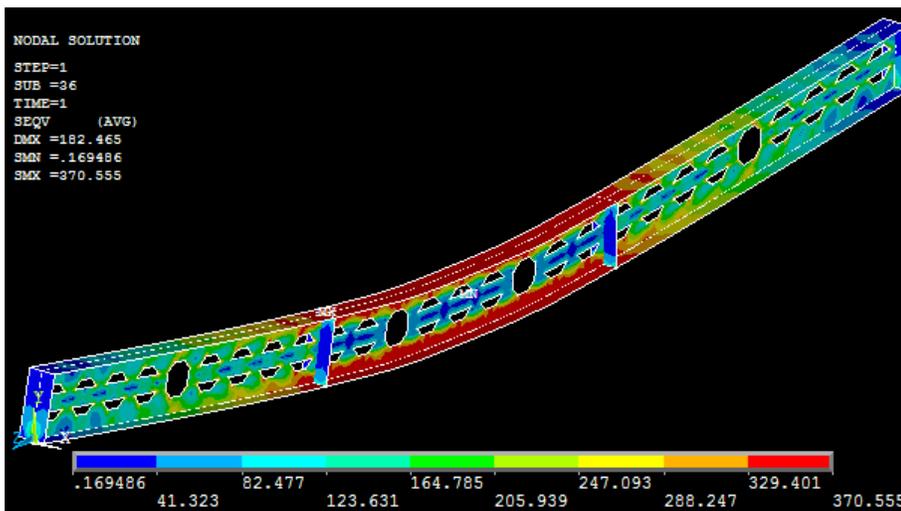


Figura 6.3 Litzka expandida W200, tensões para configuração 2

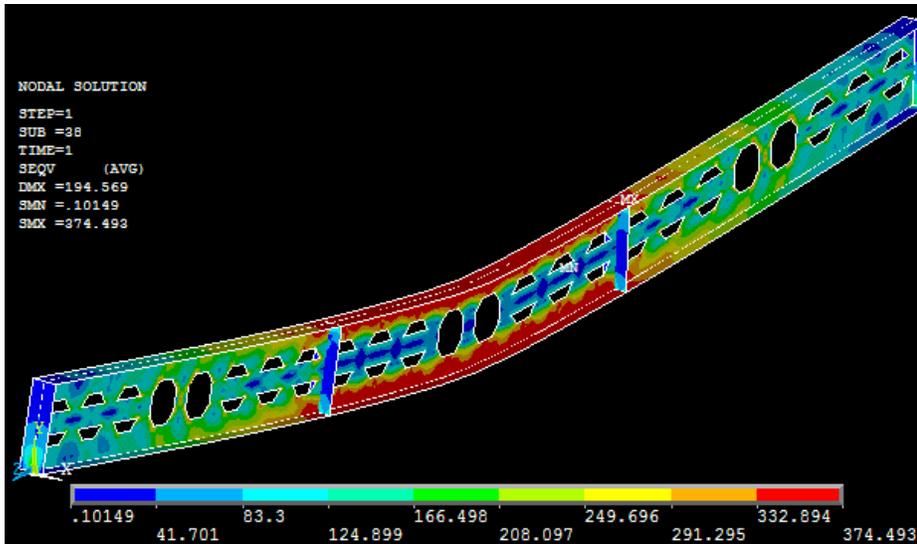


Figura 6.4 Litzka expandida W250, tensões para configuração 3

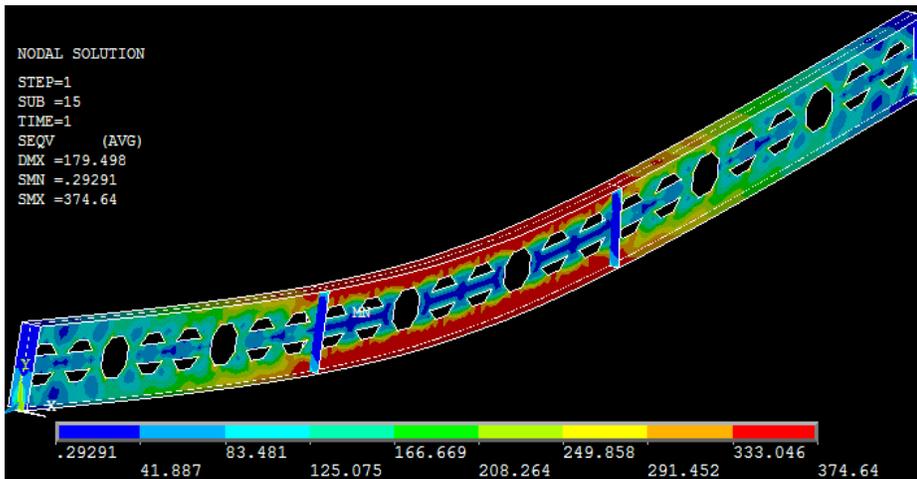
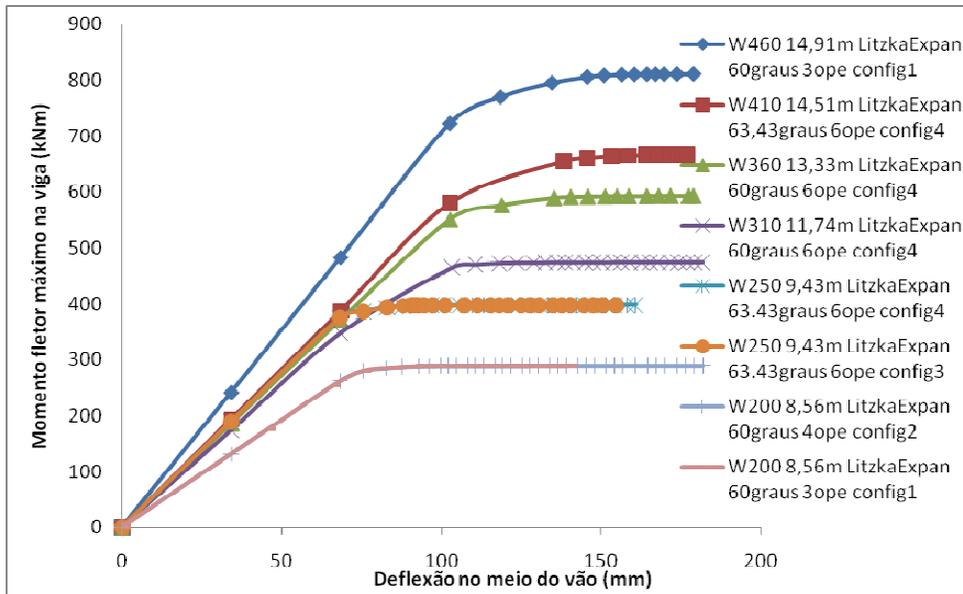


Figura 6.5 Litzka expandida W360, tensões para configuração 4

Para estas quatro configurações foram obtidas as curvas da Figura 6.6, onde se observam as duas vigas de perfil W200 de aberturas com configuração um e dois providas da mesma resistência. O que também pode ser observado para as duas vigas de perfil W250 com configurações três e quatro.

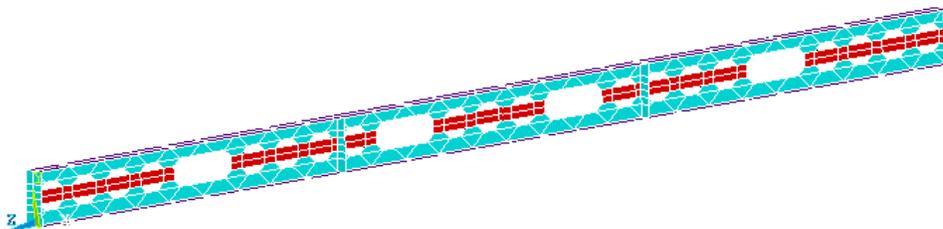


**Figura 6.6 – Curvas de resistência dos perfis Litzka Expandida**

Novamente percebe-se a baixa ductilidade dentre as vigas, mas desta vez ela se restringiu aos três primeiros perfis menores, pois a partir do perfil W360 a ductilidade sofre acréscimos contínuos.

### 6.1.1. Litzka Expandida Alongada

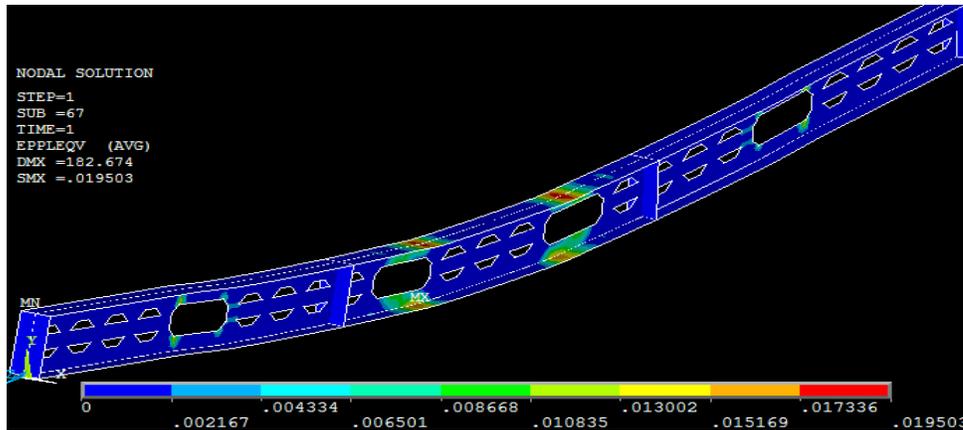
Pode-se ainda utilizar a vantagem do alongamento entre aberturas de vigas casteladas como descrito no item 2.1.1.2, também para este caso de viga Litzka Expandida, cujo processo resulta em aberturas octogonais alongadas, ver Figura 6.7.



**Figura 6.7 - Litzka Expandida W200 com quatro aberturas alongadas, configuração 5**

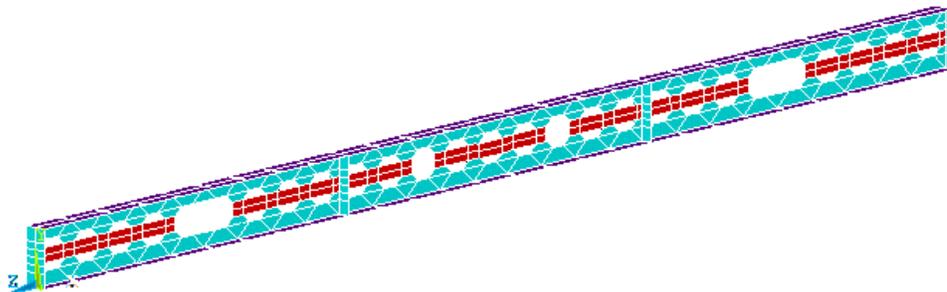
O alongamento, que é a eliminação da alma entre duas ou três aberturas, é de simples execução. A chapa de expansão mantém certa rigidez na alma que agora é subtraída entre as aberturas escolhidas.

A primeira configuração deste capítulo tem apenas três aberturas (Figura 6.2), já a quinta configuração possui quatro aberturas, sendo todas elas alongadas, ver Figura 6.7. Nestas aberturas se notam plastificações nos quatros cantos das duas aberturas externas assim como duas linhas paralelas em direção as semi-aberturas do lado interno, sugerindo um possível reforço neste local. As principais plastificações se dão nas mesas acima e abaixo das aberturas alongadas dentro do terço central, propagando-se pela alma até as aberturas, fato ilustrado pela Figura 6.8.



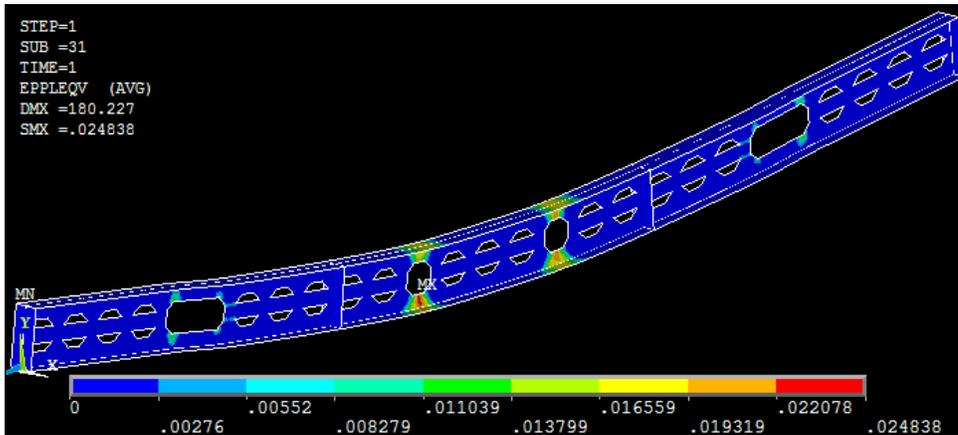
**Figura 6.8 Litzka expandida W200, deformações plásticas para configuração 5**

Na sexta configuração têm-se quatro aberturas, sendo duas alongadas nas pontas e duas centrais simples, sem alongamento (Figura 6.9).



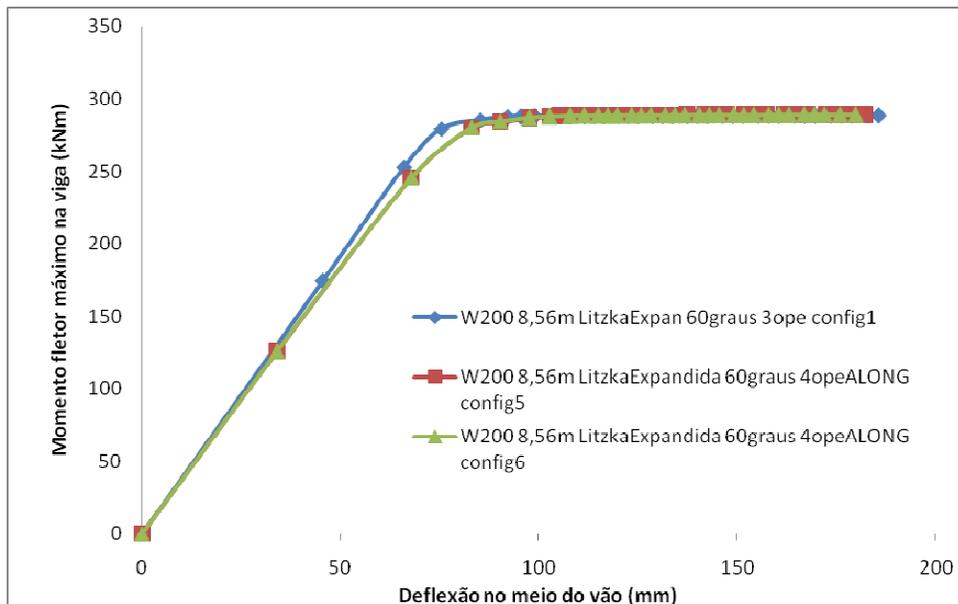
**Figura 6.9 - Litzka Expandida W200 com quatro aberturas alongadas, configuração 6**

Mesmo com duas aberturas menores no terço central a configuração seis gerou deformações plásticas de Von Mises de 2,5% (Figura 6.10), maiores que as de aberturas alongadas da configuração anterior de 1,9% (Figura 6.8).



**Figura 6.10 Litzka Expandida W200, deformações plásticas para configuração 6**

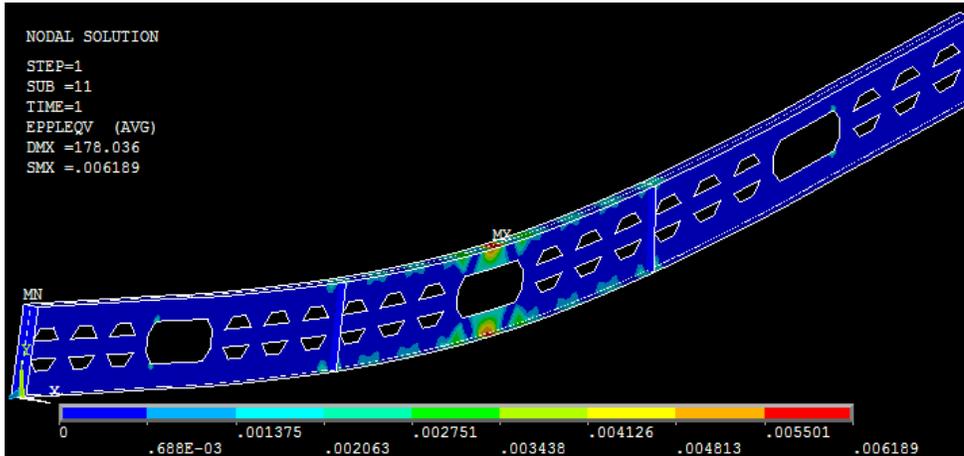
As configurações seis e cinco quando comparadas a primeira configuração de vigas Litzka expandidas, sofrem ligeira queda na resistência durante a fase elástica, visualizável na Figura 6.11, a qual pode ser considerada aceitável pelo acréscimo em área e em quantidade de aberturas.



**Figura 6.11 - Configurações simuladas da viga Litzka Expandida W200**

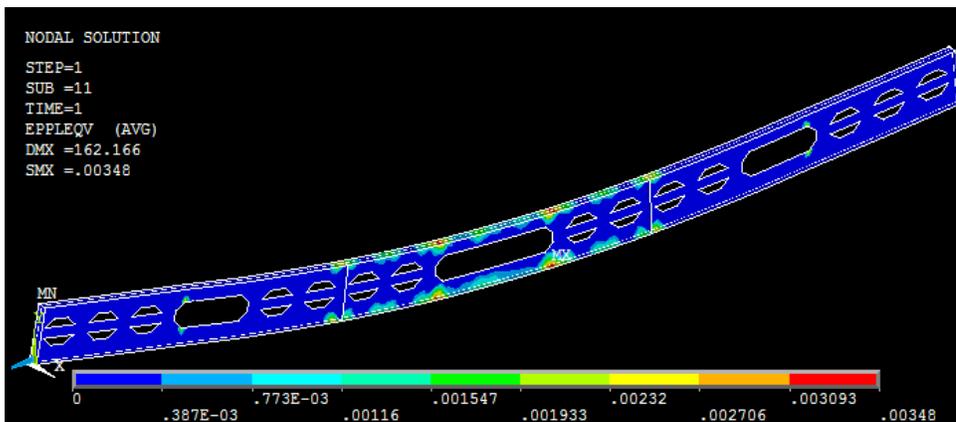
Todos os outros perfis também foram simulados e mais duas configurações de aberturas alongadas foram criadas. A sétima configuração é feita com três

aberturas alongadas centradas em cada terço das vigas, demonstrado na Figura 6.12, onde também podem ser vistas as deformações plásticas para esta configuração, as quais se caracterizam em concentrações nas mesas entre as aberturas e acima e abaixo da abertura central. Uma leve plastificação se inicia no lado de menor momento das aberturas externas.



**Figura 6.12** Litzka expandida W410, deformações plásticas para configuração 7

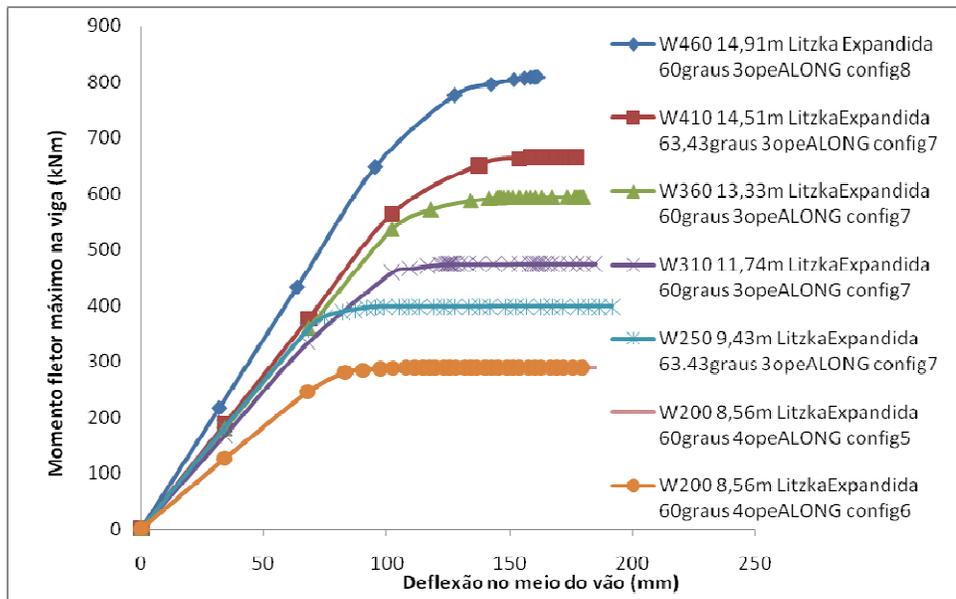
Por ultimo, a oitava configuração de três aberturas alongadas centradas nos terços, mas a abertura central é modelada com a união de três e não somente duas aberturas, ver Figura 6.13.



**Figura 6.13** Litzka expandida W460, deformações plásticas para configuração 8

O desenvolvimento da plastificação para esta viga se assemelha à anterior, mas com a diferença de as deformações máximas se caracterizaram acima e abaixo da abertura de maior comprimento.

Como na Figura 6.6, de aberturas simples, os primeiros três perfis têm pouca ductilidade, a qual acresce com o aumento das dimensões dos últimos três perfis maiores, demonstrado na Figura 6.14.



**Figura 6.14 - Resistências das vigas Litzka Expandidas com aberturas alongadas**

As resistências das vigas Litzka expandidas com aberturas alongadas mostraram-se satisfatórias, assumindo o grande aumento gerado em área de serviço destas aberturas.

### 6.1.2. Padrão de Comparação Litzka Expandida

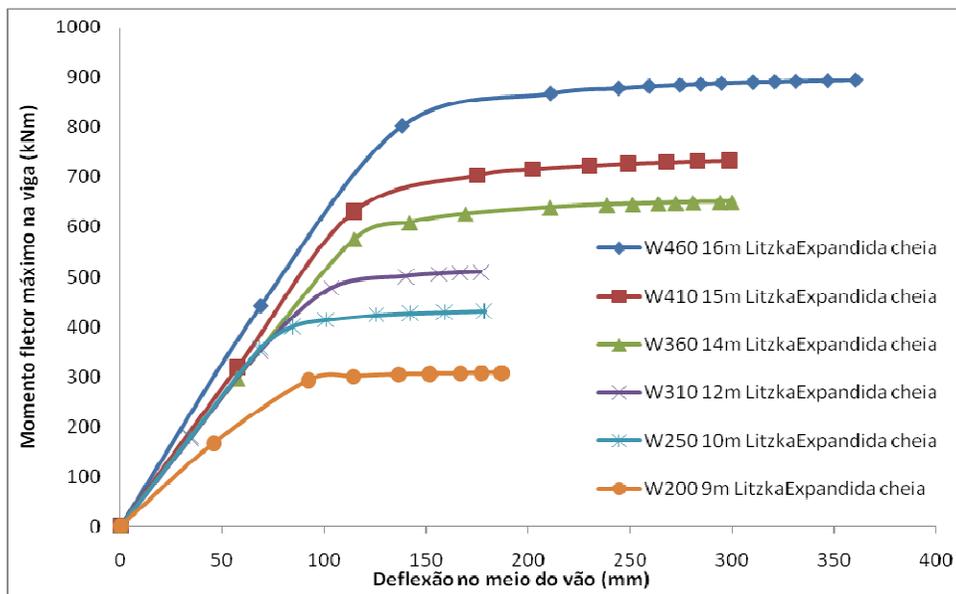
Para fins de comparações modelaram-se os mesmos perfis estudados, mas com almas cheias e dimensões iguais as resultantes das expansões devido aos processos de fabricação Litzka e de inserção de chapa de expansão vertical.

Simulando estes novos perfis com alma cheia e de espessura original, têm-se parâmetros para visualizar o desempenho desta nova viga Litzka Expandida. A redução de peso pelas semi-aberturas e o ganho na resistência na fase elástica, quando comparada a uma viga simplesmente expandida de mesmo peso linear, para cada perfil encontram-se na Tabela 6.1

**Tabela 6.1 – Peso dos perfis estudados com alma cheia mas com altura Litzka Expandida**

Peso/PERFIL	W200	W250	W310	W360	W410	W460
Original Kg/m	35,9	38,5	38,7	44	46,1	52
d altura resultante ( <b>cheio</b> ) Kg/m	45,65	51,76	52,59	61,66	65,41	74,37
Litzka Expandida Kg/m	40,85	46,35	46,12	53,42	55,52	63,19
Redução de peso	12%	12%	14%	15%	18%	18%
Ganho em resistência	40%	60%	47%	53%	43%	53%

As curvas de resistência encontradas para estes perfis sem aberturas e de altura final igual as da Litzka Expandida podem ser visualizadas na Figura 6.15.



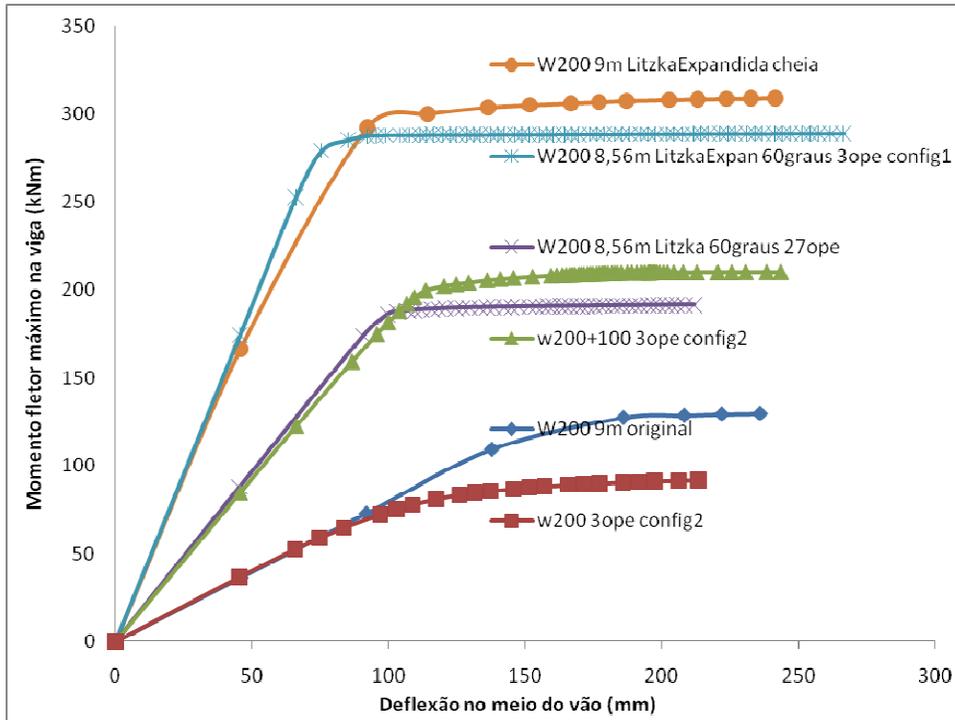
**Figura 6.15 - Curvas de resistência dos perfis com dimensões de Litzka Expandida mas com alma cheia**

## 6.2. Comparações com Resultados Anteriores

Analisando as variações dos modelos para cada perfil estudados no capítulo anterior, tem-se uma visão clara das qualidades de cada método de fabricação. Seguem as análises dos gráficos comparando os diferentes métodos de fabricação, inclusive Litzka Expandida.

### 6.2.1. Variações para o perfil W200

As variações das vigas para o perfil W200 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.16.



**Figura 6.16 – Curvas de resistência para as simulações do perfil W200**

Nota-se uma penalidade nas vigas com três aberturas sem expansão, fato que deve ser atribuído as aberturas de comprimento até quatro vezes a altura da própria abertura, que por sua vez é de quase 50% a altura do perfil, desencadeando o mecanismo de Vierendeel.

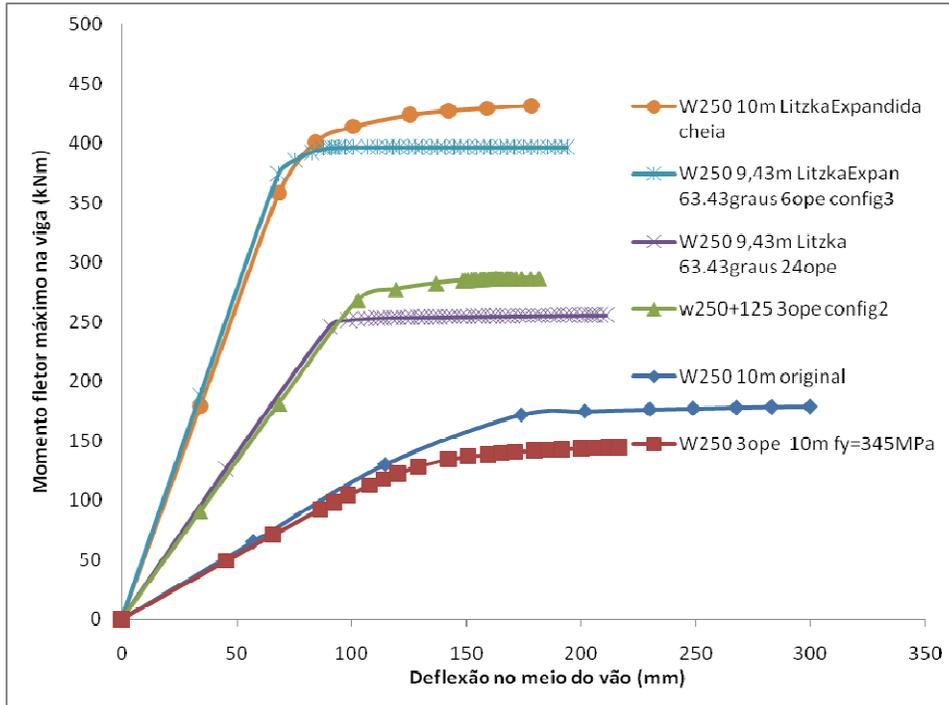
As vigas expandidas com três aberturas e a Litzka mostraram comportamento similar na fase elástica, mas tendo a Litzka uma ligeira queda na ductilidade quando na fase plástica.

A viga Litzka expandida mostrou um aumento substancial de resistência elástica assim como um aumento em área útil para passagem de tubulações, mas perdeu sua ductilidade.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, possui menor resistência na fase elástica, mas uma melhor ductilidade. Fato devido à diferente espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida, a qual é maior.

## 6.2.2. Variações para o perfil W250

As variações das vigas para o perfil W250 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.17 a seguir.



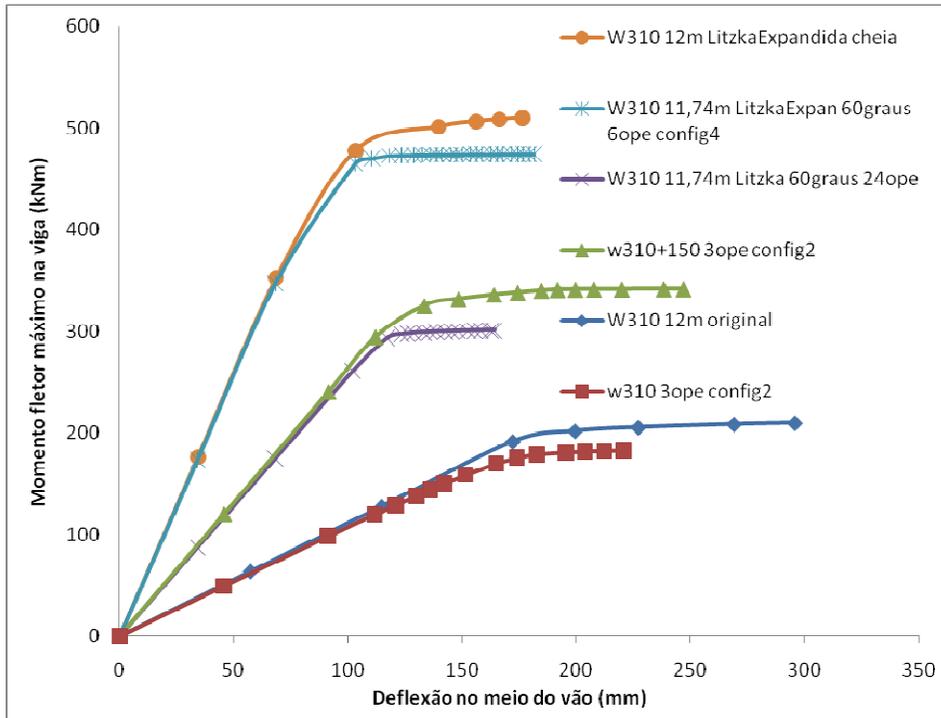
**Figura 6.17 - Curvas de resistência para as simulações do perfil W250**

A mesma análise pode ser constatada para este perfil W250, mas acrescentando um pequeno aumento em cada curva de resistência em relação ao perfil W200.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, tem pouca diferença na resistência durante a fase elástica, mas possui uma melhor ductilidade. Fato atribuído a espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida ser semelhante a da alma do perfil de comparação, 8 mm e 6,6 mm respectivamente.

### 6.2.3. Variações para o perfil W310

As variações das vigas para o perfil W310 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.18.



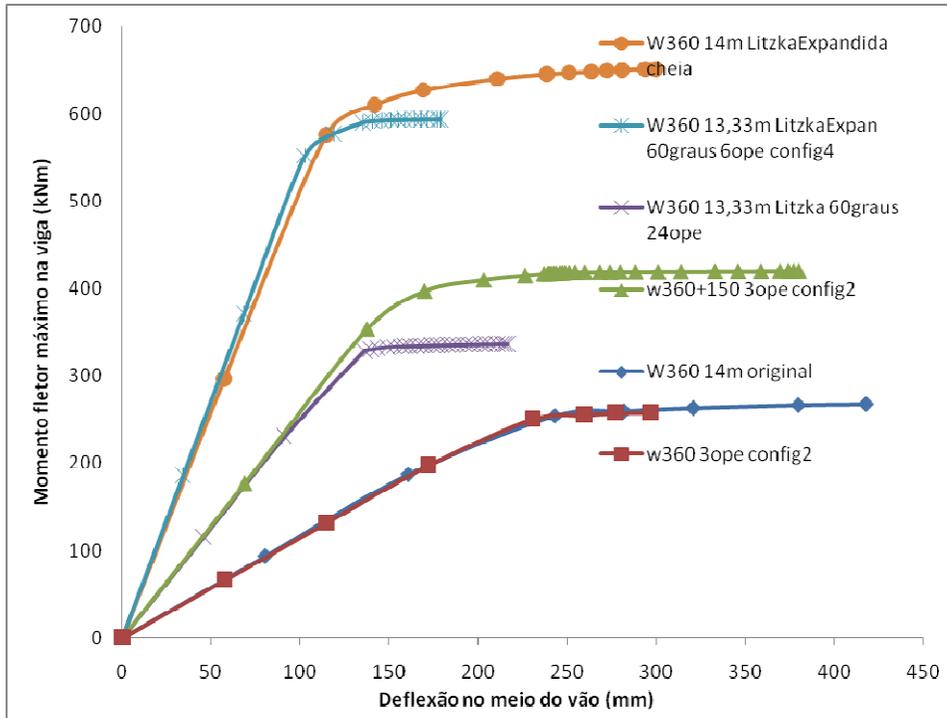
**Figura 6.18 - Curvas de resistência para as simulações do perfil W310**

Novamente comparando-se com a primeira análise para o perfil W200, nota-se uma diferença para a viga com três aberturas sem expansão, a qual mostra uma tendência a equiparar sua resistência com a viga original sem aberturas. Pois neste caso o modelo possui aberturas com comprimento de 2 a 2,7 vezes a altura das aberturas que possuem 48% da altura do perfil, o que ruma para o aceitável quando dimensionam-se aberturas nas almas de vigas.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, possui a mesma resistência durante a fase elástica, mas possui uma melhor ductilidade. Fato atribuído a espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida ser quase a mesma da alma do perfil de comparação, 6,3 mm e 5,8 mm respectivamente.

#### 6.2.4. Variações para o perfil W360

As variações das vigas para o perfil W360 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.19.



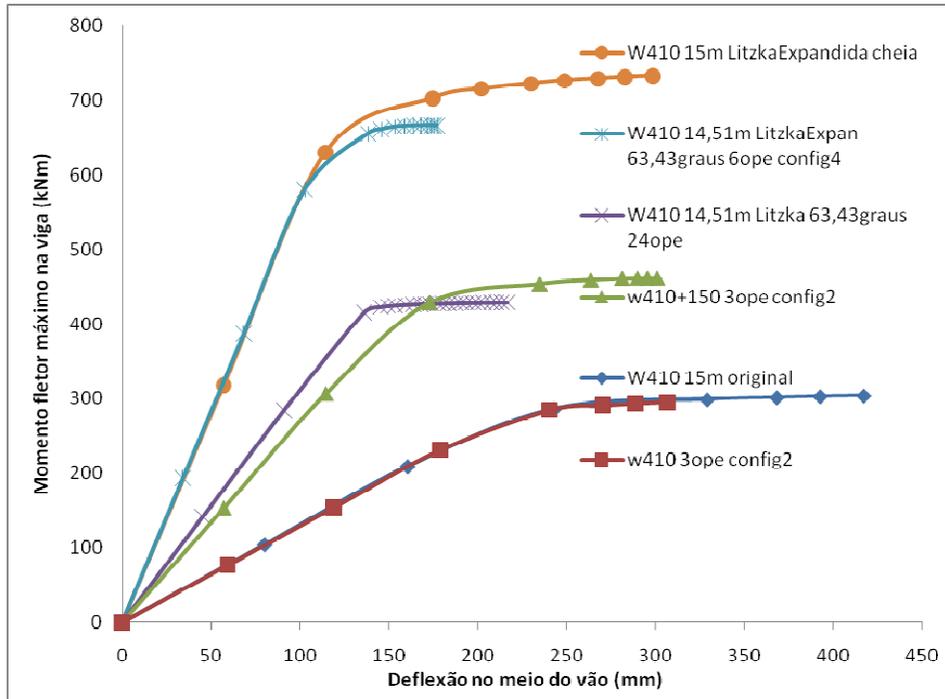
**Figura 6.19 - Curvas de resistência para as simulações do perfil W360**

Neste perfil percebe-se que as três aberturas no perfil sem expansão, não influenciam na resistência da viga se comparada com o perfil original sem aberturas. Pois na configuração deste modelo a altura da abertura é de 42% a altura do perfil resultante, e seus comprimentos não ultrapassam 2,7 vezes a altura desta abertura.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, possui a mesma resistência durante a fase elástica e ductilidade semelhante. Fato atribuído à menor relação entre a altura das aberturas e altura do total do perfil; assim como à espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida ser quase a mesma da alma do perfil de comparação, 8 mm e 6,9 mm respectivamente.

### 6.2.5. Variações para o perfil W410

As variações das vigas para o perfil W410 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.20.



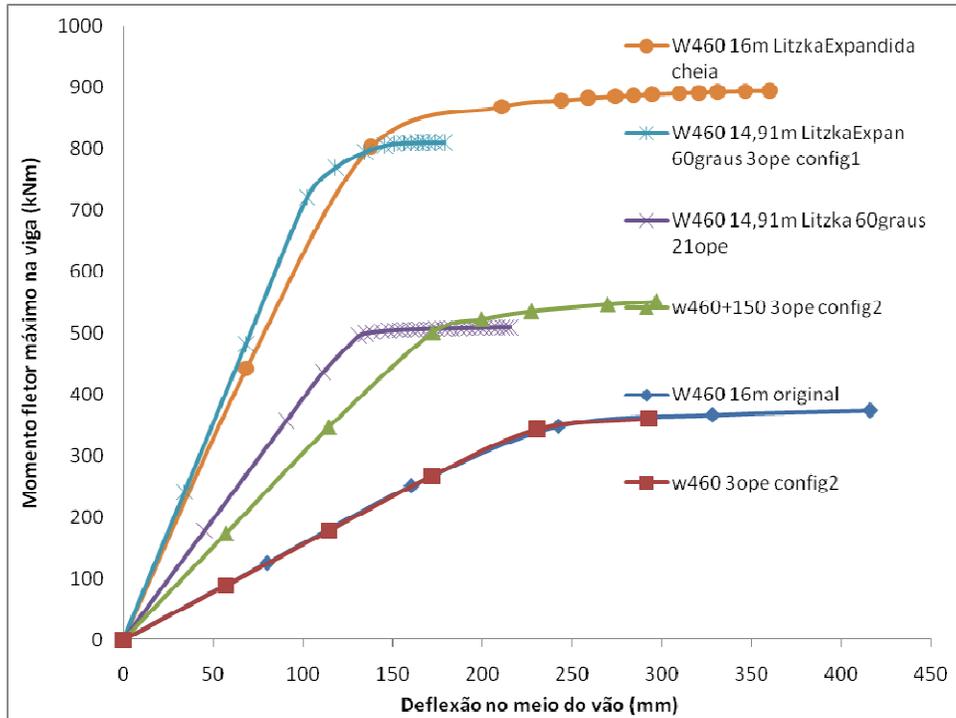
**Figura 6.20 - Curvas de resistência para as simulações do perfil W410**

Este perfil comporta-se como o anterior, W360, com seus devidos valores de resistência ligeiramente maiores, mas com a exceção da viga Litzka resultante possuir uma resistência mais elevada na fase elástica que a viga expandida com três aberturas. Fato ocasionado pela diferença em altura entre estas vigas que se tornar maior com o aumento das dimensões dos perfis.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, possui a mesma resistência durante a fase elástica e ductilidade semelhante. Fato atribuído à menor relação entre a altura das aberturas e altura do total do perfil; assim como à espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida ser quase a mesma da alma do perfil de comparação, 8 mm e 7 mm respectivamente.

### 6.2.6. Variações para o perfil W460

As variações das vigas para o perfil W460 são visualizadas nas curvas de resistência da Figura 6.21.



**Figura 6.21 - Curvas de resistência para as simulações do perfil W460**

Novamente a viga Litzka atingiu uma maior resistência elástica se comparada com a viga expandida com três aberturas, devido sua altura ser maior. As vigas com três aberturas sem expansão também não ocasionaram penalidades quando comparadas com as vigas originais. E a viga Litzka expandida continuou sendo a de maior resistência e com certa ductilidade.

Apesar de as vigas Litzka não terem sido investigadas profundamente à flambagem, resultaram em perfis resistentes, mas de menor ductilidade. A novidade foi a inserção de chapa da expansão em uma viga já expandida pelo próprio método de fabricação, resultando nas vigas Litzka Expandidas de maior resistência dentre as investigadas e providas de aberturas. Esta chapa de expansão agiu como um travamento adicional, atribuindo rigidez a alma e agindo contra essa desvantagem e contra a flambagem. Outro benefício desta viga é a perda da massa ao longo da viga devido às semi-aberturas, quando comparada a uma viga de alma cheia.

A viga de comparação com alma cheia, quando comparada à Litzka Expandida, possui uma resistência até menor durante a fase elástica, mas ductilidade semelhante. Fato atribuído à menor relação entre a altura das aberturas e altura do total do perfil, assim como à espessura da chapa de expansão na Litzka Expandida ser um pouco maior que da alma do perfil de comparação, 9,5 mm e 7,6 mm respectivamente.